



**ESCUELA DE INGENIERIA TÉCNICA
INDUSTRIAL DE ZARAGOZA**



CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTOS Y PROPIEDADES DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS

| | |
|---------------|--|
| Autor: | José Javier Arnal Frisas |
| Especialidad: | Ingeniería técnica Mecánica |
| Convocatoria: | Diciembre 2010 |
| Director: | M ^o Antonieta Madre Sediles |

INDICE

| | |
|--|----|
| <u>0. INTRODUCCIÓN</u> | 5 |
| <u>1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS ACEROS</u> | 6 |
| 1.1. Clasificación de aceros en función de su composición química. | 6 |
| 1.2. Clasificación de aceros en función la norma UNE..... | 9 |
| 1.3. Clasificación de aceros en función la norma AISI | 12 |
| 1.4. Clasificación de aceros en función la norma DIN. | 15 |
| 1.5. Clasificación de aceros en función designación sistemática del grado de acero de acuerdo con UNS (Unified Numbering System) | 16 |
| 1.6. Clasificación de aceros en función del Sistema de Numeración para material acorde con EN (Numero estándar: WNr). | 18 |
| 1.7. Clasificación de aceros en función del la norma ASTM..... | 24 |
| <u>2. CLASIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS SEGUN LA NORMA UNE</u> | 25 |
| 2.1. NORMA UNE-EN ISO 4957 | 25 |
| 2.2. Denominación de la antigua Norma UNE 36009:197241 | 45 |
| 2.3. Tipos de aceros de herramientas | 47 |
| 2.3.1. Aceros no aleados para herramientas | 48 |
| 2.3.2. Aceros aleados para trabajos en frío | 50 |
| 2.3.3. Aceros aleados para trabajos en caliente | 52 |
| 2.3.4. Aceros rápidos | 54 |
| <u>3. CLASIFICACIÓN DE ACERO DE HERRAMIENTAS SEGUN AISI</u> | 56 |
| 3.1. Clasificación de acero de herramientas según la Norma AISI | 56 |
| 3.1.1. Aceros de herramientas de temple al agua (grupo W)..... | 57 |
| 3.1.2. Aceros de herramienta para trabajos de choque (grupo S) | 60 |
| 3.1.3. Aceros para trabajos en caliente (grupo H)..... | 62 |
| 3.1.4. Aceros para trabajos en frío (grupo O, A y D) | 68 |
| 3.1.5. Aceros rápidos (grupo T y M)..... | 77 |
| 3.1.6. Aceros para usos especiales (grupo F y L) | 85 |
| 3.1.7. Aceros para moldes (grupo P) | 88 |
| <u>4. PROPIEDADES ACEROS DE HERRAMIENTAS</u> | 91 |
| 4.1. Elección de los aceros de herramientas..... | 91 |
| 4.2. Comparativa de las propiedades de algunos aceros de herramientas de la norma AISI | 92 |
| 4.3. Penetración del temple..... | 91 |
| 4.4. Tenacidad..... | 94 |

| | |
|--|------------|
| 4.5. Dureza en caliente | 94 |
| 4.6. Resistencia a la descarburación..... | 94 |
| 4.7. Maquinabilidad | 95 |
| 4.8. Dureza respecto de la temperatura | 96 |
| 4.9. Rotura de las herramientas | 97 |
| 4.10.Elementos de aleación | 98 |
| 5. TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 100 |
| 5.1. Introducción..... | 100 |
| 5.2. Generalidades | 101 |
| 5.3. Definición..... | 101 |
| 5.4. Características | 101 |
| 5.5. Tipos de tratamientos | 101 |
| 5.6. Desarrollo de los tratamientos térmicos | 102 |
| 5.6.1. Calentamiento hasta la temperatura máxima | 102 |
| 5.6.2. Permanencia a la temperatura máxima | 102 |
| 5.6.3. Enfriamiento desde la temperatura máxima hasta la temperatura ambiente | 103 |
| 5.6.4. Desarrollo de los tratamientos en los aceros rápidos | 103 |
| 5.7. Hornos utilizados para los tratamientos térmicos | 103 |
| 5.8. Normalizado | 105 |
| 5.8.1. Definición y generalidades..... | 105 |
| 5.8.2. Características..... | 105 |
| 5.8.3. Temperaturas de normalizado y características obtenidas en aceros al carbono de 25 mm de diámetro | 107 |
| 5.8.4. Enfriamiento del normalizado | 107 |
| 5.9. Recocidos..... | 108 |
| 5.9.1. Definición | 108 |
| 5.9.2. Características..... | 108 |
| 5.9.3. Tipos de recocido, definiciones, generalidades, características y curvas de enfriamiento..... | 108 |
| 5.9.4. Enfriamiento del recocido | 110 |
| 5.9.5. Recocido en los aceros rápidos..... | 111 |
| 5.10. Temple | 111 |
| 5.10.1. Definición..... | 111 |
| 5.10.2. Generalidades | 111 |
| 5.10.3. Primera fase del temple: calentamiento..... | 112 |
| 5.10.4. Segunda fase del temple: el enfriamiento..... | 112 |
| 5.10.5. Velocidad crítica del temple | 114 |
| 5.10.6. Representación del temple en los diagramas de las curvas | 115 |
| 5.10.7. Factores que influyen en la práctica del temple..... | 116 |
| 5.10.8. Influencia del tamaño de las piezas | 116 |
| 5.10.9. Influencia de la composición..... | 117 |

| | |
|---|-----|
| 5.10.10. Influencia del tamaño del grano | 119 |
| 5.10.11. Influencia del medio de enfriamiento | 119 |
| 5.10.12. Elección del medio de enfriamiento | 122 |
| 5.10.13. Temple en los aceros rápidos | 123 |
| 5.11. Revenido | 124 |
| 5.11.1. Revenido en los aceros rápidos | 125 |
| 5.11.2 Curvas del revenido de los aceros de herramientas de la norma UNE ISO 4957 | 125 |
| 5.11.2.2. Ejemplo de Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío | 126 |
| 5.11.2.2. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas aleados para trabajo en frío | 127 |
| 5.11.2.3. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas para trabajo en caliente | 128 |
| 5.11.2.4. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros rápidos para herramientas | 129 |
| 5.12. Templabilidad | 130 |
| 5.13. Tratamiento criogénico | 131 |
| 5.13. 1. Introducción | 131 |
| 5.13. 1. Principios del tratamiento criogénico | 131 |
| <u>6. ACEROS DE HERRAMIENTAS MÁS COMUNES</u> | 133 |
| 6.1. Aceros aleados para trabajo en frío | 133 |
| 6.1.1. X153CrMoV12 | 133 |
| 6.2. Aceros aleados para trabajo en caliente | 139 |
| 6.2.1. X38CrMoV5- | 139 |
| 6.3. Aceros rápidos | 145 |
| 6.3.1. HS6-5-2C | 145 |
| <u>7. FABRICACIÓN DE ACEROS DE HERRAMIENTAS</u> | 151 |
| 7.1. Proceso convencional | 151 |
| 7.1.1 Fases del proceso convencional | 152 |
| 7.1.2 Fusión | 152 |
| 7.1.3. Metalurgia secundaria | 152 |
| 7.1.4. Fundición | 154 |
| 7.1.4.1. La colada | 154 |
| 7.1.5. Conformación | 156 |
| 7.1.5.1. Laminación en caliente | 154 |
| 7.1.5.2. Forja | 157 |
| 7.1.5.2. Moldeo | 157 |
| 7.1.6. Tratamiento térmico | 158 |
| 7.2. Pulvimetalurgia | 158 |
| 7.2.1. Definición | 159 |
| 7.2.2. Proceso | 159 |

| | |
|--|-----|
| 7.2.3. Polvos de metal | 159 |
| 7.2.4. Fabricación de polvos metálicos..... | 160 |
| 7.2.5. Proceso de fabricación | 161 |
| 7.2.5.1. Comprensión | 162 |
| 7.2.5.1. Sintetizado | 163 |
| 7.2.5. Ventajas de la pulvimetalurgia sobre los procesos convencionales..... | 164 |
| <u>8. BIBLIOGRAFIA</u> | 165 |

0. INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en la recopilación de información de los aceros de herramientas en las que encontramos 7 partes.

En la primera parte encontramos una clasificación general que podemos encontrar de los aceros con sus respectivas normas, como forma introductorias de los aceros. Para pasar luego en la segunda parte y tercera parte, a una clasificación de los distintos grupos de aceros para herramientas según la norma UNE y la AISI.

En la cuarta parte encontramos las propiedades principales de los aceros de herramientas.

En la quinta parte encontramos los distintos tratamientos térmicos que podemos dar a un acero de herramientas.

En la sexta parte encontramos distintos aceros de herramientas comerciales con sus características detalladas de esos respectivos ejemplos.

Por ultimo, en la última parte encontramos los procesos más comunes para la producción de aceros de herramientas.

1. CLASIFICACIÓN GENERAL

DE LOS ACEROS

En la clasificación de los aceros encontramos varios tipos de clasificaciones, desde las distintas normas hasta su composición química. En nuestro caso daremos las normas que definen a los aceros en general para luego tratar a los aceros de herramientas.

Las normas a dar son la norma UNE, la norma DIN, la norma AISI, la norma EN y la norma UNS. Mas adelante entraremos con más detalle en la norma UNE, la norma AISI y la norma ASTM.

1.1. Clasificación de aceros en función de su composición química

Existen varios tipos de aceros, pero en general se pueden clasificar en:

- **Aceros al carbono**

Son aceros que sólo tienen carbono y no poseen otros elementos de aleación (en proporciones significativas).

- **Aceros de bajo carbono ($\%C < 0,25$)**

- **Aceros de medio carbono ($0.25 < \% < C 0,55$)**

- **Aceros de alto carbono ($2 > \% C > 0,55$)**

- **Aceros aleados**

Son aceros que poseen además del carbono, otros elementos de aleación.

- **Aceros de baja aleación (elementos aleantes $< 5\%$).**

- **Aceros de alta aleación (elementos aleantes $> 5\%$).**

En la norma EN 10020 vemos la distinta clasificación en función de su composición, en los que los aceros de herramientas podrían clasificarse en aceros aleados y no aleados dependiendo siempre de su composición, que se explicarán más adelante.

NORMA UNE-EN 10020

CLASIFICACIÓN SEGUN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

1. Contenidos de aleación que deben considerarse

Para las normas europeas, la clasificación dada en la norma de producto o en la especificación, se aplica sea cual sea el tipo de acero realmente producido, en la medida que su composición química satisfaga los requisitos establecidos en la norma correspondiente.

1.1 La pertenencia a una clase se basa en la composición química de colada prescrita por la norma de producto o por la especificación, considerando el valor mínimo especificado para cada elemento.

1.2 Cuando, para un elemento distinto del manganeso, solo está especificado un valor máximo en la norma de producto o en la especificación, a efectos de clasificación, se debe considerar un valor del 70% de dicho valor máximo según las tablas 1. Para el manganeso, vease la nota de la tabla 1.

1.3 Si la norma de producto o la especificación se refiere exclusivamente al análisis sobre producto, se establecerá un análisis de colada, teniendo en cuenta las desviaciones admisibles definidas en la norma de producto, o en la especificación o en la Euronorma o en la norma europea correspondiente.

1.4 Si no existen normas, especificaciones o prescripciones precisas sobre el análisis, la clasificación se basará en el análisis real de colada indicado por el fabricante.

1.5 Los resultados obtenidos en el análisis sobre producto pueden desviarse de los del análisis de colada en los valores admitidos por la norma de producto correspondiente o por la especificación (sin que esto influya en la clasificación del acero como no aleado o aleado). Si el análisis sobre productos pone de manifiesto un valor del que se deriva una clasificación del acero en una clase distinta a la prevista, la pertenencia a la clase inicial deseada deberá establecerse de forma independiente y probarse documentalmente.

1.6 Para los productos recubiertos o para los productos compuestos, la clasificación se establecerá en función de la composición química del metal base.

1.7 Los contenidos de los elementos deben expresarse con el mismo número de decimales que figuran en la tabla 1 (así por ejemplo: un intervalo especificado como 0,3% a 0,5% corresponde a contenidos entre 0,30% y

0,50%. Por otra parte, un contenido especificado del 2% corresponde a un contenido de 2,00%).

2 Definición de las clases

2.1 Aceros no aleados. Se considera como acero no aleado aquel en el que el contenido, de cualquiera de sus elementos, entendido como se establece en el apartado 1, es inferior al valor límite dado en la tabla 1.

2.2 Aceros inoxidables. Los aceros inoxidables son los aceros que contienen un mínimo de 10,5% de cromo y un máximo de 1,2% de carbono.

2.3 Otros aceros aleados. Se considera como otro acero aleado aquel que no cumpliendo con la definición de acero inoxidable, el contenido, de al menos uno de sus elementos, entendido como se establece en el apartado 1, es igual o superior al valor límite dado en la tabla 1.

Tabla 1 Delimitación de las clases de acero no aleado y de acero aleado (análisis de colada)

| Elemento especificado | | Contenido límite % en masa |
|--|---|-------------------------------|
| Al | Aluminio | 0,30 |
| B | Boro | 0,0008 |
| Bi | Bismuto | 0,10 |
| Co | Cobalto | 0,30 |
| Cr | Cromo | 0,30 |
| Cu | Cobre | 0,40 |
| La | Lantánidos (considerados individualmente) | 0,10 |
| Mn | Manganeso | 1,65 ^{a)} |
| Mo | Molibdeno | 0,08 |
| Nb | Niobio | 0,06 |
| Ni | Níquel | 0,30 |
| Pb | Plomo | 0,40 |
| Se | Selenio | 0,10 |
| Si | Silicio | 0,60 |
| Te | Telurio | 0,10 |
| Ti | Titanio | 0,05 |
| V | Vanadio | 0,10 |
| W | Tungsteno | 0,30 |
| Zr | Circonio | 0,05 |
| Otros, excepto: Carbono, Fósforo, Azufre, Nitrógeno (cada uno individualmente) | | 0,10 |
| a) Cuando el manganeso está definido sólo por un máximo, el valor límite es 1,80% y la regla del 70% (véase el apartado 3.1.2) no se aplica. | | |

1.2. Clasificación de aceros en función la norma UNE

La norma que define a los aceros viene definido por la norma UNE 36010, que a sustituye a la norma UNE-EN 10020:2001, para clasificar a los aceros por su composición y propiedades de los mismos. Esta norma fue creada por el Instituto del Hierro y del Acero (IHA).

Esta norma divide a los aceros en cinco grupos que a su vez se dividen en distintos subgrupos, en la serie cinco encontramos a los aceros de herramientas.

Más adelante, en el aparato 2., se dará con más detalle la norma UNE.

NORMA UNE-EN ISO 36010

| Clasificación de los aceros según NORMA UNE 36010: | | |
|---|---|---|
| Serie | Grupo | Propiedades / Aplicaciones |
| 1 Aceros finos de construcción general | 1. (Finos carbono) 2 y 3. (Aleados de gran resistencia) 4. (Aleados de gran elasticidad) 5 y 6. (De cementación) 7. (De nitruración) | Propiedades: Son no aleados. Cuanto más carbono contienen son más duros y menos soldables, pero también más resistentes a los choques. Se incluyen también aceros con tratamientos térmicos y mecánicos específicos para dar resistencia, elasticidad, ductabilidad, y dureza superficial. Aplicaciones: Necesidades generales de la ingeniería de construcción, tanto industrial como civil y comunicaciones. |

| | | |
|---|---|--|
| <p>2 Aceros para usos especiales</p> | <p>1. (De mecanización) fácil 2. (De soldadura) fácil 3. (De propiedades magnéticas) 4. (De dilatación térmica específica) 5. (Resistentes a la fluencia)</p> | <p>Propiedades: Generalmente son aceros aleados o tratados térmicamente.</p> <p>Aplicaciones: Grupos 1 y 2: Tornillería, tubos y perfiles. Grupo 3: Núcleos de transformadores, motores de bobinado. Grupo 4: Piezas de unión de materiales férricos con no férricos sometidos a temperatura. Grupo 5: Instalaciones químicas, refinerías y para altas temperaturas.</p> |
| <p>3 Aceros resistentes a la oxidación y corrosión</p> | <p>1. (Inoxidables) 2 y 3. (Resistentes al calor)</p> | <p>Propiedades: Basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel, a los que se suman otros elementos para otras propiedades más específicas. Resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas.</p> <p>Aplicaciones: Grupo 1: Cuchillería, elementos de máquinas hidráulicas, instalaciones sanitarias, piezas en contacto con agentes corrosivos. Grupos 2 y 3: Piezas de hornos emparrillados, válvulas y elementos de</p> |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| | | motores de explosión y, en general, piezas sometidas a corrosión y temperatura. |
| 5 Aceros para herramientas | 1. (Al carbono para herramientas) 2, 3 y 4. (Aleados para herramientas) 5. (Rápidos) | <p>Propiedades: Son aceros aleados con tratamientos térmicos que les dan características muy particulares de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la deformación por calor.</p> <p>Aplicaciones:</p> <p>Grupo 1: maquinaria de trabajos ligeros en general, desde la carpintería y agrícola, hasta de máquinas</p> <p>Grupos 2, 3 y 4: Para maquinaria con trabajos más pesados.</p> <p>Grupo 5: Para trabajos y operaciones de debaste y de mecanización rápida que no requieran gran precisión.</p> |
| 8 Aceros de molde | 1. (Al carbono de molde de usos generales) 3. (De baja radiación) 4. (de molde inoxidables) | <p>Propiedades: Para verter en moldes de arena, por lo que requieren cierto contenido mínimo de carbono que les dé maleabilidad.</p> <p>Aplicaciones: Piezas de formas geométricas complicadas, con características muy variadas. Estrictamente hablando no difieren de los aceros de otras series y grupos más que en su moldeabilidad.</p> |

Como se puede comprobar en la tabla en la serie 5, encontramos a los aceros de herramientas, que a su vez se divide en cinco grupos:

- 1) Aceros de herramientas no aleados.
- 2) ,3) y 4) Aceros de herramientas aleados
- 5) Aceros rápidos.

1.3. Clasificación de aceros en función la norma AISI

Norma AISI (American Iron and Steel Institute –EE.UU.) y SAE (Society of Automotive Engineers –EE.UU.)

Especificaciones realizadas con 4 números. Además de los números las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura. Las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

XX : %C x 100

Y : En el caso de aceros de aleación simple, indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación.

Z : Tipo de acero (o aleación).

Si **Z** es igual a:

1 : Aceros al Carbono (corriente u ordinario).

2 : Aceros al Níquel

3 : Aceros al Níquel-Cromo

4 : Aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo

5 : Aceros al Cromo

6 : Aceros al Cromo-Vanadio

7 : Aceros Al Tungsteno-Cromo

8 : Aceros al Ni-Cr-Mo etc.

Definición de letras adicionales:

E Fusión en horno eléctrico básico.

H. . . . Grados de acero con templabilidad garantizada.

C Fusión en horno por arco eléctrico básico.

X Desviación del análisis de norma.

TS . . . Norma tentativa.

B. . . . Grados de acero con un probable contenido mayor de 0.0005% boro.

LC. . . Grados de acero con extra- bajo carbono (0.03% máx.).

F. . . Grados de acero automático.

Ejemplos:

| | | | |
|-------------|---|---|-------------------------------|
| AISI 1020 | { | 1 | : Acero corriente u ordinario |
| | | 0 | : No aleado |
| | | 20 | : 0,20 %C |
| AISI C 1020 | C | : Letra que indica que el proceso de fabricación fue SIEMENS-MARTIN-básico. | |
| Puede ser: | B | : Bessemer – ácido | |
| | E | : Horno Eléctrico – básico | |
| AISI 1045 | { | 1 | : Acero corriente u ordinario |
| | | 0 | : No aleado |
| | | 45 | : 0,45 %C |
| AISI 3215 | { | 3 | : Acero al Níquel-Cromo |
| | | 2 | : 1,6 %Ni, 1,5 %Cr |
| | | 15 | : 0,15 %C |
| AISI 4140 | { | 4 | : Acero aleado (Cr-Mo) |
| | | 1 | : 1,1 %Cr 0,2 %Mo |
| | | 40 | : 0,40 %C |

Generalmente la composición de los aceros no es exacta, existe un rango de tolerancia aceptable en referencia a los valores indicados en normas o catálogos.

Tolerancias en la composición del acero AISI 4140:

| | |
|-------------|-------------|
| C : | 0,38-0,43 % |
| Mn : | 0,75-1,00 % |
| Cr : | 0,80-1,10 % |
| Mo : | 0,15-0,25 % |
| Si : | 0,15-0,35 % |
| P : | £ 0,035 % |
| S : | £ 0,040 % |

La norma AISI, especifica a los aceros inoxidables utilizando 3 números:

Inoxidables martensíticos:

- 4XX : Base Cr. Medio-alto carbono.
- 5XX : Base Cr, Mo. Bajo carbono.

Ejemplos : 410, 416, 431, 440, 501, 502, 503, 504.

Inoxidables ferríticos:

- 4XX : Base Cr. Bajo carbono.

Ejemplos : 430, 442, 446.

Inoxidables austeníticos:

- 3XX : Base Cr, Ni. Bajo carbono.
- 2XX : Base Cr, Ni, Mn. Bajo carbono.

Ejemplos : 302, 304, 316, 303, 202.

Para los aceros para herramientas, la norma AISI a formulados códigos específicos:

| Grupo | Símbolo | |
|-----------------------------|---------|---------------------------------------|
| Alta velocidad (rápidos) | T | Base Tugsteno (%W: 11,75-19,0). |
| | M | Base Molibdeno (%Mo: 3,25-10,0). |
| Trabajo en caliente | H | Base Cr, W, Mo. |
| Trabajo en frío | A | Media aleación, temple al aire. |
| | D | Alto Cr, Alto C. (%Cr: 11,5-13,5). |
| | O | Templables al aceite. |
| Resistencia al Impacto | S | Medio carbono, al Si. |
| Propósitos específicos | L | Baja aleación, medio-alto carbono. |
| | F | Alto carbono, al W. |
| Moldes | P | Baja aleación, bajo carbono. |
| Templables en agua | W | Alto carbono. |

En el apartado 3., entraremos en más detalle sobre los aceros de herramientas y sus subgrupos según la norma AISI.

1.4. Clasificación de aceros en función la norma DIN (Deutsche Industrie Normen - Alemania)

Hay que destacar que actualmente las distintas normas europeas se parecen mucho, ya sea la norma DIN (Alemana), la nueva norma UNE (Española) , la norma UNI (Italiana),etc.

Aceros aleados

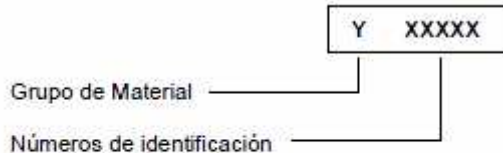
| ACEROS DE BAJA ALEACION (Elementos aleantes < 5%) | ACEROS DE ALTA ALEACION (Elementos aleantes > 5%) |
|---|--|
| 1. %C x 100 2. Símbolos de los elementos de aleación ¹ . 3. % de los elementos de aleación ² . Ejemplo: 80 W Cr V 8 Acero de baja aleación con 0,80 %C y 2,00 %W ² . | 1. Letra inicial: X 2. %C x 100 3. Símbolos de los elementos de aleación 4. % de los elementos de aleación ³ . Ejemplo: X 10 Cr Ni 18 8 Acero de alta aleación con 0,10 %C; 18 %Cr y 8 %Ni ³ . |
| ¹ Los elementos de aleación y sus correspondientes porcentajes se ordenan de forma decreciente en función al valor real de dichos porcentajes. ² Para hallar el porcentaje real de los elementos aleantes, dividir entre: 4 para Co-Cr-Mn-Ni-Si-W 10 para Al-Be-B-Cu-Mo-Pb-Nb-Ta-Ti-V-Z 100 para Ce-N-P-S ³ Porcentaje real de los elementos aleantes (no son afectados por ningún factor). | |
| Aceros rápidos | |
| 1. Letra inicial: HS 2. Número en secuencia W, Mo, V, Co expresando el contenido de cada elemento aproximado a números enteros. Ejemplo: HS 6-5-2 BÖHLER S600: 0,9C 4,3Cr 5,0Mo 1,9V 6,4W | |

Aceros ordinarios o comunes

| Aceros estructurales | Aceros apropiados para trat. térmico | Aceros para herramientas |
|--|--|---|
| Abreviatura: St. Resistencia mínima a la tracción en kg/mm ² Ejemplo: St 42 Acero al carbono con valor mínimo de resistencia a la tracción de 42 kg/mm ² . | Símbolo para el carbono: C. %C x 100 Ejemplo: C 35 Acero al carbono de 0,35 %C | Símbolo de la calidad: W Ejemplo: C 100 W2 Acero de herramientas de 1,0 %C, calidad 2. |
| Utilizados generalmente como aceros estructurales. | CK 35 A los aceros con bajo P y S se les añade la letra K: P<0,025% y S<0,035% | W1 : Calidad 1 W2 : Calidad 2 W3 : Calidad 3 W4 : Calidad para fines específicos. |
| St - X: X = 1 : Con solicitaciones de resistencia a la corrosión. X = 2 : Con altas solicitaciones mecánicas. X = 3 : Calmados, para solicitaciones especiales. | | |

1.5. Clasificación de aceros en función designación sistemática del grado de acero de acuerdo con UNS (Unified Numbering System)

Estructura de numeración en aceros:



UNS (sistema de numeración unificado)

Axxxxx aluminio y aleaciones de aluminio
Cxxxxx cobre y aleaciones de cobre

Exxxxx tierras raras y metales similares y aleaciones

Fxxxxx hierro fundido

Gxxxx aceros aleados y al carbono AISI y SAE

Hxxxx aceros con templabilidad garantizada AISI Y SAE.

Jxxxxx aceros fundidos (excepto aceros para herramientas).

Kxxxxx diversos aceros y aleaciones base hierro.

Lxxxxx metales y aleaciones de bajo punto de fusión.

Mxxxxx varios metales y aleaciones no ferrosas.

Nxxxxx níquel y aleaciones de níquel.

Pxxxxx metales preciosos y aleaciones.

Rxxxxx metales y aleaciones reactivas y refractarias.

Sxxxxx aceros resistentes a la corrosión y temperatura (incluyendo inoxidables), aceros para válvulas y súper aleaciones base hierro.

Txxxxx acero para herramientas, forjado y fundido

Wxxxx metal de aportación de soldadura

Zxxxxx Zinc y aleaciones de Zinc

| UNS | SAE | Tipos de acero |
|--|--|--|
| G10XX0 G11XX0 G12XX0 G15XX0 | 10XX 11XX 12XX 15XX | Aceros de carbono Aceros no aleados (Mn 1.0% max.) Aceros automáticos (aleado al S) Aceros automáticos (aleado al S y P) Aceros no aleados (Mn 1.0 - 1.65%) |
| G13XX0 G23XX0 G25XX0 G31XX0 G32XX0 G33XX0 G34XX0 G40XX0 G41XX0 G43XX0 G44XX0 G46XX0 G47XX0 G48XX0 G50XX0 G51XX0 G50XX6 G51XX6 G52XX6 G61XX0 G71XX0 G72XX0 G81XX0 G86XX0 G87XX0 G88XX0 G92XX0 G93XX0 G94XX0 G97XX0 G98XX0 | 13XX 23XX 25XX 31XX 32XX 33XX 34XX 40XX 41XX 43XX 44XX 46XX 47XX 48XX 50XX 51XX 50XXX 51XXX 52XXX 61XX 71XXX 72XX 81XX 86XX 87XX 88XX 92XX 93XX 94XX 97XX 98XX | Aceros aleados Acero Manganeseo Acero Níquel Acero Níquel Acero Níquel-Cromo Acero Níquel-Cromo Acero Níquel - Cromo Acero Níquel - Cromo Acero Molibdeno Acero Molibdeno - Cromo Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Molibdeno Acero Níquel - Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Molibdeno Acero Cromo Acero Cromo Acero Cromo Acero Cromo Acero Cromo Acero Cromo-Vanadio Acero Tungsteno-Cromo Acero Tungsteno-Cromo Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero silicio-manganeseo Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Níquel-Cromo-Molibdeno |

| UNS | SAE | Tipos de acero |
|--------------------------------------|--|---|
| GXXXX1 GXXXX4 | XXBXX XXLXX | Carbono y Aceros aleados B indica boro *) L indica plomo **) |
| S2XXXX S3XXXX S4XXXX S5XXXX | 302XX (AISI 2XX) 303XX (AISI 3XX) 514XX (AISI 4XX) 515XX (AISI 5XX) | Aceros inoxidables Acero Níquel-Cromo-Molibdeno Acero Cromo-Níquel Acero Cromo Acero Cromo |
| — | EX - - | Aceros de prueba SAE acero de prueba |

*) En la UNS el tipo de número, el pasado dígito cambio 0 a 1.

**) En la UNS el tipo de número, el pasado dígito cambio 0 a 4.

1.6. Clasificación de aceros en función del Sistema de Numeración para material acorde con EN (Numero estándar: WNr)

Esta es la norma que se está imponiendo en Europa dada la consolidación de la Comunidad Europea.

El sistema EN 10020 se basa en los aceros clasificados de acuerdo a su composición química (aceros no aleados y aleados) (ver apartado 1.1) y la principal categoría de calidad basada en sus principales propiedades y aplicaciones.

La EN 10027-2 organiza y administra la numeración de aceros en aplicación de la Verein Deutscher Eisenhüttenleute "OFICINA EUROPEA DE REGISTROS DE ACEROS".

NORMA UNE-EN 10027-2:92

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta Parte 2 de la Norma Europea 10027 establece un sistema de numeración para designar los tipos y grados de acero. Establece la estructura de los "números de acero", así como la organización para su registro, asignación y difusión. Este sistema se denomina "sistema numérico". El "número de acero" es complementario de la designación simbólica que se describe en la Parte 1 de esta Norma EN 10027.

La aplicación de esta Parte 2 de la Norma Europea 10027 es obligatoria para los tipos y grados de acero definidos en las Normas Europeas; es potestativa para los aceros definidos en las normas nacionales y para los aceros fabricados por las sociedades siderúrgicas (aceros de marca).

NOTA- Aunque el sistema se limita a los aceros, está estructurado de forma que su aplicación puede extenderse a otros productos fabricados industrialmente.

1.2 Los números que se definen en este sistema tienen un número fijo de cifras (véase capítulo 5 de la norma). Por tanto, este sistema es más adecuado para el tratamiento de datos que las designaciones convencionales definidas en la Parte 1 de la Norma EN 10027.

1.3 La solicitud de atribución del "número de acero" (véase capítulo A.6 a A.9 de la norma) es responsabilidad, para los aceros definidos en las Normas Europeas, del Comité ECISS correspondiente y, para los aceros nacionales, del Organismo Nacional competente.

NOTA- Los organismos de ámbito europeo, con un interés específico en la normalización de aceros y de productos de acero (tales como: AECMA, EUROFER, etc.), deberán enviar la solicitud de asignación de número a través de la Secretaría Central del ECIS (véase capítulo A.9).

2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta Norma Europea incorpora las disposiciones de otros documentos mediante su referencia en distintos apartados de la misma; estas referencias pueden incluirse con o sin fecha y se recopilan en este capítulo. En el caso de aquellas normas que se citan con su fecha, para que las futuras revisiones o modificaciones de las mismas sean aplicables a ésta, es necesario que ésta sea revisada o modificada; por el contrario, en el caso de aquellas normas que se citan sin fecha, es aplicable la última versión en vigor.

EN 10020 - ***Definición y clasificación de aceros.***

EN 10027-1 - ***Sistemas de designación de aceros. Parte 1. Designación simbólica.***

EN 10079 - ***Definición de productos de acero.***

3 DEFINICIONES

Para la aplicación de esta norma se utilizarán las definiciones dadas en las Normas EN 10020 (ver apartado 1.1).

4 PRINCIPIOS

4.1 Un mismo número corresponde a un solo tipo y grado de acero. Recíprocamente, a cada tipo y grado de acero ~610 se asignará un número que, en principio (véase apartado 4.3), no debe reasignarse a otro, aún en el caso que éste haya sido suprimido (véanse capítulos A.1 y A.2).

4.2 Los “números de acero” son asignados por la Oficina Europea de Registro, de acuerdo con lo indicado en el anexo A.

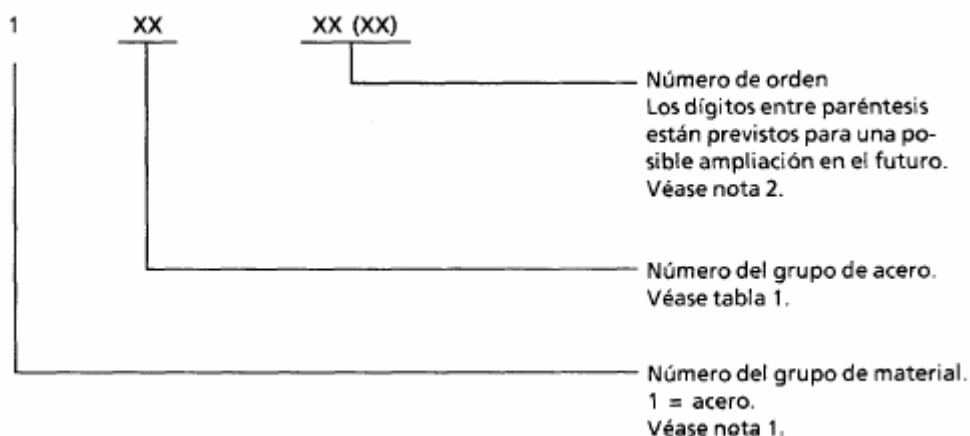
4.3 La Oficina Europea de Registro (véase capítulo A.9) debe revisar periódicamente, con intervalos adecuados, la Lista de Aceros Registrados. Estas revisiones, realizadas en colaboración con los organismos responsables de las solicitudes de asignación de número, tendrán por objeto comprobar si algunos de los números corresponden a aceros que han dejado de producirse. Si éste es el caso, estos números se incluirán en un anexo de la Lista durante un período transitorio y, posteriormente serán eliminados. Entonces se publicará una revisión de la Lista.

Los números de los aceros eliminados como consecuencia de este proceso podrán reutilizarse para posibles nuevos tipos y grados de acero.

4.4 En general, no debe cambiarse el número asignado a un acero. Si por razones excepcionales es inevitable algún cambio, éste debe realizarse de acuerdo con lo indicado en los apartados 4.1 y 4.3.

5 ESTRUCTURA DE LOS NÚMEROS DE LOS ACEROS

La estructura de los números de los aceros es la siguiente:



NOTAS

1 Los números 2 a 9 pueden utilizarse para designar otros materiales. (Véase nota del apartado 1 .I).

2 En el momento actual, el número de orden consta de dos cifras. Ante la posibilidad de que en el futuro se precisara una ampliación del número de cifras para tener en cuenta un posible aumento del número de aceros, se ha previsto un número de hasta cuatro cifras. En este caso sería publicada una revisión de esta Parte 2 de la Norma EN 10027.

Tabla 1
Número de grupo de los aceros

| Nº | Aceros no aleados | | | | Aceros aleados | | | | | | | | |
|----|-------------------|----|---|----|--|--|--|-----------------------|--|----------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| | Aceros de base | | Aceros de calidad | | Aceros especiales | | Aceros de calidad | | Aceros especiales | | | | |
| | | | | | | | | | Aceros de construcción y Aceros para recipientes a presión | | | | |
| 0 | 00 | 90 | | | 10 | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| | Aceros de base | | | | Aceros con propiedades físicas particulares | | Cr | | Aceros inoxidables con Ni < 2,5% sin Mo, Nb, Ti | Mn-Si-Cu | Cr-Ni con 2,0% ≤ Cr < 3,0% | Cr-B | Cr-Si-Mo Cr-Si-Mn-Mo Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mn-Mo-V |
| 1 | | | 01 | 91 | 11 | | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 71 | 81 |
| | | | Aceros de construcción de uso general con $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$ | | Aceros de construcción y recipientes a presión con C < 0,50% | | Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si | | Aceros inoxidables con Ni < 2,5% con Mo pero sin Nb o Ti | Mn-Si Mn-Cr | | Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn | Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mn-V |
| 2 | | | 02 | 92 | 12 | | 22 | 32 | 42 | 52 | 62 | 72 | 82 |
| | | | Aceros de construcción de uso especial no destinados a tratamiento térmico con $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$ | | Aceros de construcción y recipientes a presión con C ≥ 0,50% | | Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si | Aceros rápidos con Co | | Mn-Cu Mn-V Si-V Mn-Si-V | Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu | Cr-Mo con Mo < 0,35% Cr-Mo-B | Cr-Mo-W Cr-Mo-W-V |
| 3 | | | 03 | 93 | 13 | | 23 | 33 | 43 | 53 | 63 | 73 | 83 |
| | | | Aceros con: C medio < 0,12% ó $R_m < 400 \text{ N/mm}^2$ | | Aceros de construcción y recipientes a presión con prescripciones especiales | | Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V | Aceros rápidos sin Co | Aceros inoxidables con Ni > 2,5% sin Mo, Nb, Ti | Mn-Ti Si-Ti | Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu Ni-Mo-V Ni-Mn-V | Cr-Mo con Mo ≥ 0,35% | |
| 4 | | | 04 | 94 | 14 | | 24 | 34 | 44 | 54 | 64 | 74 | 84 |
| | | | Aceros con C medio 0,12% ≤ C < 0,25% ó $400 \leq R_m < 500 \text{ N/mm}^2$ | | | | W Cr-W | | Aceros inoxidables con Ni ≥ 2,5% con Mo pero sin Nb o Ti | Mo Nb, Ti, V W | | | Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti |

Tabla 1 (Fin)
Número de grupo de los aceros

| Nº | Aceros no aleados | | | | Aceros aleados | | | | | | | | |
|----|-------------------|---|----|--------------------------|---|--------------------------------|---|---|--|---|---------------------------------|---|--|
| | Aceros de base | Aceros de calidad | | Aceros especiales | Aceros de calidad | | Aceros especiales | | | | | | |
| | | | | | | | Aceros para herramientas | Aceros de grupos diversos | Aceros inoxidables y refractarios | Aceros de construcción y Aceros para recipientes a presión | | | |
| 5 | | 05 | 95 | 15 | | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 | |
| | | Aceros con: C medio $\geq 0,25\%$ $< 0,55\%$ $\delta 500 \leq R_m < 700 \text{ N/mm}^2$ | | Aceros para herramientas | | W-V Cr-W-V | Aceros para rodamientos | Aceros inoxidables con adiciones especiales | B Mn-B Mn $< 1,65\%$ | Cr-Ni-Mo con Mo $< 0,4\%$ + Ni $< 0,2\%$ | Cr-V con Cr $< 2,0\%$ | Aceros para nitruración | |
| 6 | | 06 | 96 | 16 | | 26 | 36 | 46 | 56 | 66 | 76 | 86 | |
| | | Aceros con: C medio $\geq 0,55\%$ $\delta R_m \geq 700 \text{ N/mm}^2$ | | Aceros para herramientas | | W distintos clases 24, 25 y 27 | Materiales sin Co, con propiedades | Aceros inoxidables y refractarios. Aleaciones de níquel | Ni | Cr-Ni-Mo con Mo $< 0,4\%$ + $2,0\% \leq \text{Ni} < 3,5\%$ | Cr-V con Cr $\geq 2,0\%$ | | |
| 7 | | 07 | 97 | 17 | | 27 | 37 | 47 | 57 | 67 | 77 | 87 | |
| | | Aceros con altos contenidos en P o S | | Aceros para herramientas | | Con Ni | Materiales con Co con propiedades magnéticas particulares | Aceros refractarios con Ni $< 2,5\%$ | Cr-Ni con Cr $< 1,0\%$ | Cr-Ni-Mo con Mo $< 0,4\%$ + $3,5\% < \text{Ni} < 5,0\%$ o Mo $\leq 0,4\%$ | Cr-Mo-V | Aceros no destinados para tratamientos térmicos por el utilizador | |
| 8 | | | | 18 | 08 | 98 | 28 | 38 | 48 | 58 | 68 | 78 | 88 |
| | | | | Aceros para herramientas | Aceros con propiedades físicas especiales | | Otros | Materiales sin Ni con propiedades físicas particulares | Aceros refractarios con Ni $\geq 2,5\%$ | Cr-Ni con 1,0% Cr $< 1,5\%$ | Cr-Ni-V Cr-Ni-W Cr-Ni-V-W | | Aceros soldables de alta resistencia no destinados a tratamiento térmico por el utilizador |
| 9 | | | | 19 | 09 | 99 | 29 | 39 | 49 | 59 | 69 | 79 | 89 |
| | | | | | Aceros para otras aplicaciones | | | Materiales con Ni con propiedades físicas particulares | Materiales con propiedades a temperaturas elevadas | Cr-Ni con 1,5% \leq Cr $< 2,0\%$ | Cr-Ni excepto clases 57 a 68 | Cr-Mn-Mo Cr-Mn-Mo-V | Aceros soldables de alta resistencia no destinados a tratamiento térmico por el utilizador |

NOTA 1: La clasificación de los grupos de acero corresponde a la clasificación de la Norma EN 10020.

NOTA 2: En las casillas de esta tabla se da la siguiente información:

- a) el número del grupo de acero (esquina superior izquierda);
- b) la característica principal del grupo de acero;
- c) R, es la resistencia a tracción.

Los valores límite para la composición química y la resistencia a la tracción (R,) se dan a título informativo.

A (Normativo)

EXPLICACIÓN Y PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE ASIGNACIÓN DE NÚMERO A LOS ACEROS

A.1 Los números de designación, según lo indicado en el capítulo 4, se asignan a los aceros en función de sus características especificadas siguientes:

- a) la composición química;
- b) características que puedan determinarse mediante métodos de ensayo normalizados, por ejemplo, la dureza, las características definidas por el ensayo de tracción, la energía de flexión por choque, la templabilidad, la resistencia a la corrosión, las características metalográficas, etc.;
- c) la aptitud para la transformación, por ejemplo, la conformabilidad en frío;
- d) la aptitud a empleos específicos, por ejemplo, alambres para neumáticos.

Las diferencias en las condiciones de suministro que no afecten a las características de material, por ejemplo, tipo de marcado, acabado superficial, medidas, etc. no deben considerarse motivo suficiente para la asignación de un “número de acero” diferente.

A.2 La prescripción de exigencias más restrictivas o de requisitos suplementarios para un material no debe considerarse como razón suficiente para la asignación de un nuevo “número de acero”.

A.2.1 El que un fabricante restrinja internamente los requisitos especificados para un tipo de acero para reducir la posibilidad de desviaciones respecto a las especificaciones, no debe considerarse como razón suficiente para la asignación de un nuevo “número de acero”.

A.2.2 Si las modificaciones prescritas o los requisitos suplementarios implican variaciones significativas en las características del material o si de ellas se derivan un cambio en la clasificación del grado del acero, según la Norma EN 10020, (por ejemplo, una reducción del contenido máximo en azufre de 0,035% a 0,010%), debe asignarse un nuevo número al acero considerado.

NOTA- Por razones prácticas, un número existente puede completarse añadiéndole un sufijo o un texto apropiado para indicar ciertas características especificadas. En estos casos, la parte añadida no forma parte del “número de acero”.

A.3 Sólo se asignará número a los aceros que sean comercializados.

A.4 Cuando se justifique la necesidad de un nuevo número, la disponibilidad de números se verificará con la última lista de números asignados (véase capítulo A.12).

A.5 Según lo indicado en los apartados 4.1 y 4.3, para atribuir un nuevo número, es preciso que las características (véase A. 1) difieran significativamente de las de otro grado con número asignado.

A.6 La solicitud de atribución de un “número de acero” debe realizarse mediante el formulario del anexo B.

A.7 Deberá leerse atentamente las recomendaciones del anexo B y facilitar toda la información solicitada.

NOTA- Se ha preparado el formulario para que sirva como una ficha de datos que facilite el tratamiento de cada solicitud hasta la edición final de los datos por un equipo de tratamiento informático y para minimizar los errores de transcripción.

A.8 Para facilitar la asignación numérica, se pide al solicitante que sugiera el posible nuevo número, teniendo en cuenta los números existentes (véase capítulo A.4).

A.9 Los formularios cumplimentados deben remitirse a:
Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh)
Abteilung Europäische Stahlregistratur
Sohnstrasse 65
D - 4000 Düsseldorf 1
ALEMANIA

que desempeña las funciones de Oficina de Registro encargada de la designación y gestión de los números de acero.

NOTA- Los organismos europeos (véase nota del apartado 1.3) que soliciten la asignación de un “número de acero”, pueden remitir una copia de la solicitud directamente a la Oficina Europea de Registro.

A.10 La Oficina Europea de Registro se somete a la competencia del ECISS, al que rendirá cuentas anualmente.

A.11 La Oficina Europea de Registro informará al solicitante de las acciones tomadas en un plazo no superior a 3 meses. En caso de litigio sobre la asignación de un “número de acero”, la cuestión será sometida al ECISS (COCOR) a través del Organismo Nacional responsable (véase apartado 1.3).

A.12 La Oficina Europea de Registro deberá preparar y publicar, a intervalos adecuados, una lista de todos los tipos y grados registrados con su “número de acero”.

1.7. Clasificación de aceros en función de la norma ASTM

Dado el uso generalizado de esta norma norteamericana, la comentamos brevemente a continuación.

La norma ASTM no especifica composición directamente, más bien determina la aplicación o ámbito de empleo. Por tanto, no existe una relación directa biunívoca con las normas de composición.

Ejemplo:

A36: Especificación de aceros estructurales al carbono.

A285: Especificación de aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para planchas de recipientes a presión.

A325: Especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi.

A514: Especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar.

Grupos de aplicación

La primera letra de la norma indica el grupo de aplicación:

AXX: Especificaciones para aceros y hierros.

BXX: Especificaciones para no ferrosos.

CXX: Especificaciones para concreto, estructuras civiles.

DXX: Especificaciones de químicos: Aceites, pinturas, etc.

EXX: Especificaciones de métodos de ensayos.

Otros

2. CLASIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS SEGUN LA NORMA UNE

2.1. NORMA UNE-EN ISO 4957

La norma que define a los aceros de herramienta viene definido por la norma UNE-EN ISO 4957:1999, que a su vez adopta íntegramente a la Norma Internacional ISO 4957:1999. Esta norma sustituye a la Norma UNE 36018-1 de abril de 1994, 36018-2 de abril de 1994, 36018-3 de abril de 1994 y 36018-4 de abril de 1994.

La norma UNE-EN ISO 4957:1999 viene a ser:

NORMA UNE-EN ISO 4957:1999

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma internacional especifica los siguientes tipos de aceros para herramientas:

- a) aceros para herramientas no aleados para trabajos en frío;
- b) aceros para herramientas aleados para trabajo en frío;
- c) aceros para herramientas aleados para trabajo en caliente;
- d) aceros rápidos para herramientas.

Salvo especificación en contrario, esta norma internacional se aplica a todos los tipos de productos laminados en caliente o en frío, forjados, o estirados en frío y que se suministran en una de las condiciones superficiales y de tratamiento térmico especificadas en el apartado 4.1.2 y en la tabla 1.

Los productos mencionados en esta norma internacional puede ser elaborados por pulvimetalurgia.

NOTA 1 – Las tablas 2, 4, 6 y 8 sólo recogen aceros que han alcanzado cierta importancia internacional, sin embargo, esto no significa que estén disponibles en todos los países industrializados. Además, un determinado número de otros aceros están especificados en normas regionales, nacionales o de compañías.

NOTA 2 – Cuando la resistencia de las herramientas al calor es un factor de particular importancia, como por ejemplo las herramientas para el conformado

en caliente del cristal, la selección del material se debe basar en las Normas Internacionales ISO 4955 o ISO 9722.

1.2 Además de esta norma internacional, son aplicables las condiciones técnicas generales de suministro de la Norma Internacional ISO 404.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de la publicación las ediciones indicadas estaban en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta norma internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

ISO 377:1997 – *Aceros y productos de acero. Localización y preparación de las muestras y probetas para ensayos mecánicos.*

ISO 404:1992 – *Aceros y productos de acero. Condiciones técnicas generales de suministro.*

ISO 1035-1:1980 – *Barras de acero laminadas en caliente. Parte 1: Dimensiones de las barras redondas.*

ISO 1035-3:1980 – *Barras de acero laminadas en caliente. Parte 3: Dimensiones de las llantas.*

ISO 1035-4:1980 – *Barras de acero laminadas en caliente. Parte 4: Tolerancias.*

ISO 4948-1:1982 – *Aceros. Clasificación. Parte 1: Clasificación en aceros aleados y no aleados basada en su composición química.*

ISO 6506:1981) – *Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo Brinell.*

ISO 6508:1986) – *Materiales metálicos. Ensayo Rockwell (escalas A-B-C-D-E-F-G-H-K).*

1) Será sustituida por las Normas Internacionales ISO 6506-1, ISO 6506-2 e ISO 6506-3.

2) Será sustituida por las Normas Internacionales ISO 6508-1, ISO 6508-2 e ISO 6508-3.

ISO 6929:1897 – *Productos de acero. Definición y clasificación.*

ISO/TR 9769:1991 – *Aceros y fundiciones. Revisión de los métodos de análisis disponibles.*

ISO 10474:1991 – *Aceros y productos de acero. Documentos de inspección.*

ISO 14284:1996 – *Aceros y fundiciones. Toma y preparación de muestras para la determinación de la composición química.*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para el objeto de esta norma internacional se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1 Acero aleado y no aleado: Véase apartado 1.1.

3.2 Aceros para herramientas: Aceros especiales aptos para el trabajado o procesado de materiales, la manipulación y medida de las piezas y, que por este motivo, presentan una dureza elevada y resistencia al desgaste y/o tenacidad.

3.2.1 Aceros para trabajo en frío: Aceros para herramientas aleados o no aleados destinados a aplicaciones en las que la temperatura de la superficie es generalmente inferior a 200 °C.

3.2.2 Aceros para trabajo en caliente: Aceros para herramientas aleados destinados a aplicaciones en las que la temperatura de la superficie es generalmente superior a 200 °C.

3.2.3 Aceros rápidos para herramientas: Aceros utilizados principalmente para procesos de mecanizado y conformado y que, por su composición química, poseen la mayor dureza y resistencia al revenido a alta temperatura, hasta aproximadamente 600 °C.

4 REQUISITOS

4.1 Procedimiento de fabricación

4.1.1 Generalidades. Los procedimientos de elaboración del acero y de fabricación de los productos quedan a la discreción del fabricante, con las restricciones indicadas en el apartado 4.1.2.

Cuando así lo solicite, el comprador debe ser informado acerca del procedimiento de elaboración del acero utilizado.

4.1.2 Condición de tratamiento térmico y condición superficial en el suministro. La condición de tratamiento térmico y la condición superficial de los productos deben satisfacer los acuerdos efectuados en el momento de hacer el pedido.

4.1.2.1 Condición de tratamiento térmico. Las condiciones de tratamiento térmico se indican en la tabla 1. Salvo especificación en contrario en el pedido, los aceros para herramientas (excepto C45U, tabla 2, 35CrMo7, X38CrMo16 y 40CrMnNiMo8-6-4, tabla 4, 55NiCrMoV7, tabla 6) se suministran en la condición de recocido.

4.1.2.2 Condición superficial. Las condiciones superficiales habituales son:

a) superficie bruta de laminación en caliente o de forja (es decir, transformado en caliente);

b) superficie mecanizada (rectificado, pulido, torneado, descortezado o bruñido);

c) superficie obtenida por deformación en frío.

4.2 Composición química y propiedades mecánicas

4.2.1 La tabla 1 recoge un resumen de las combinaciones habituales de las condiciones de tratamiento térmico en el suministro y requisitos conforme a las tablas 2 a 9 (composición química, dureza).

4.2.2 Para la profundidad de la penetración del temple de los aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío, véase la tabla 2, nota d.

4.3 Calidad superficial

4.3.1 Todos los productos deben tener un buen acabado y deben estar limpios y exentos de imperfecciones superficiales, susceptibles de afectar negativamente a su utilización final.

4.3.2 Los productos rectificados, pulidos o torneados deben estar libres de defectos superficiales y de descarburación superficial.

4.3.3 Los productos laminados en caliente, forjados, estirados en frío o desbastados deben pedirse con un sobremetal suficiente que permita eliminar, por mecanizado o rectificado:

a) la descarburación superficial, y

b) los defectos superficiales.

Mientras no exista una norma internacional sobre las tolerancias de mecanizado de los aceros para herramientas, las tolerancias deben ser objeto de un acuerdo en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

4.4 Forma, dimensiones y tolerancias

La forma, las dimensiones y las tolerancias de los productos deben cumplir los requisitos acordados en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido. Los acuerdos deben, en la medida de lo posible, estar basados en las normas internacionales correspondientes o, en las normas nacionales apropiadas.

Para las llantas o redondos, las dimensiones y/o las tolerancias para los productos incluidos en esta norma internacional se indican en las Normas Internacionales ISO 1035-1, ISO 1035-3 e ISO 1035-4.

NOTA – Por acuerdo, las tolerancias pueden ser todas en más o según otras disposiciones, repartidas por igual en más y en menos.

5 INSPECCIÓN, ENSAYO Y CONFORMIDAD DE LOS PRODUCTOS

5.1 Inspección, métodos de ensayo y tipos de documentos de inspección

5.1.1 Para cada suministro, se puede acordar, en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido, expedir un documento de inspección conforme a la Norma Internacional ISO 10474.

5.1.2 Si, conforme a lo acordado en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido, se debe proporcionar un informe de ensayo, este debe contener:

- a) una declaración de conformidad del material con los requisitos del pedido;
- b) los resultados del análisis de colada para todos los elementos especificados para el tipo de acero suministrado.

5.1.3 Si, conforme a lo acordado en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido, se debe proporcionar un certificado de inspección 3.1.A, 3.1.B o 3.1.C, o un acta de inspección 3.2 (véase la Norma Internacional ISO 10474), las inspecciones y los ensayos específicos descritos en el apartado 5.2 deben ser efectuados y sus resultados deben ser certificados en el documento. Además, el documento debe incluir:

- a) los resultados de los análisis de colada suministrados por el fabricante, para todos los elementos especificados para el tipo de acero solicitado;
- b) los resultados de todas las inspecciones y ensayos requeridos como requisitos suplementarios (véase el Anexo B);
- c) los símbolos (letras o números) que permitan asociar los documentos de inspección con las muestras y los productos entre sí.

5.2 Inspección y ensayos específicos

5.2.1 Número de muestras

5.2.1.1 Composición química. El análisis de colada lo aporta el fabricante. Para el análisis de producto, véase el apartado B.2 del anexo B.

5.2.1.2 Características mecánicas. Por cada unidad de recepción debe ensayarse una muestra.

5.2.1.2.1 Para el material suministrado en la condición de recocido o recocido y laminado en frío o recocido y estirado en frío, la unidad de ensayo debe estar constituida por productos de la misma colada y del mismo lote de tratamiento térmico.

En el caso de material tratado térmicamente en un horno continuo, se considera un lote de tratamiento térmico como la cantidad de productos (de la misma colada y de las mismas dimensiones) que sin ninguna interrupción, han

sido sometidos a condiciones constantes de tratamiento (misma temperatura del horno, misma atmósfera y misma velocidad de desplazamiento) a través del horno.

5.2.1.2.2 Para el material suministrado en la condición de templado y revenido, la unidad de ensayo debe estar constituida por productos de la misma colada, sometidos al mismo tratamiento térmico y del mismo espesor.

Sin embargo, si el fabricante confirma que el espesor no tiene ningún efecto significativo sobre la dureza en la condición de templado y revenido, entonces en una misma unidad de ensayo se pueden incluir diferentes espesores.

5.2.1.2.3 Salvo especificación en contrario en el momento de hacer el pedido (véase el capítulo B.5), el número de productos a someter a inspección de la calidad superficial, queda a la discreción del inspector.

5.2.1.3 Control dimensional. Salvo especificación en contrario en el momento de hacer el pedido (véase el apartado B.6), el número de productos a someter a control dimensional y de forma, queda a la discreción del inspector.

5.2.2 Toma de muestras

5.2.2.1 Las condiciones generales para la selección y la preparación de las muestras y de las probetas debe ser conforme con las Normas Internacionales ISO 377 e ISO 14284.

5.2.2.2 Para el ensayo de dureza Brinell, la superficie de la muestra o de la probeta extraída de la muestra en la condición de suministro, debe ser preparada conforme a los requisitos de la Norma Internacional ISO 6506.

5.2.3 Métodos de ensayo

5.2.3.1 El ensayo de dureza Brinell debe realizarse conforme a la Norma Internacional ISO 6505.

5.2.3.2 Salvo acuerdo en contrario (véase el capítulo B.5), la calidad superficial debe ser inspeccionada visualmente.

5.2.4 Contraensayos

Para los contraensayos, se debe aplicar la Norma Internacional ISO 404.

6 MARCADO

El fabricante debe marcar de manera adecuada los productos, los paquetes o las cajas que contengan a los productos, de forma que pueda ser identificada la colada, el tipo de acero y el origen del suministro (véase el capítulo B.8).

7 PEDIDO Y DESIGNACIÓN

La designación del producto en un pedido debe contener la siguiente información:

- a) la cantidad a suministrar;
 - b) la designación de la forma del producto (por ejemplo barra), seguidas de:
 - 1) designación de la norma dimensional y las dimensiones y tolerancias seleccionadas de la misma (véase el apartado 4.4), ó
 - 2) la designación de cualquier otro documento relativo a las dimensiones y a las tolerancias requeridas para el producto.
 - c) si se requiere otra condición superficial que no sea “transformado en caliente”, o una calidad superficial particular,
 - 1) la condición superficial (véase el apartado 4.1.2.2);
 - 2) la calidad superficial (véase el apartado 4.3).
 - d) una descripción del acero, que comprenda:
 - 1) la referencia a esta norma internacional;
 - 2) la designación del tipo de acero (véanse las tablas 2, 4, 6 y 8);
 - 3) el símbolo para la condición de tratamiento térmico en el suministro (véase la tabla 1), y, si los productos se suministran en la condición de templado y revenido, los valores de dureza requeridos;
 - 4) la designación normalizada para el tipo de documento de inspección requerido (véase la Norma Internacional ISO 10474);
 - 5) el símbolo y, en caso necesario, los detalles relativos a los requisitos suplementarios (véase el anexo
- B), si es necesario la conformidad con cualquier requisito complementario.

EJEMPLO

Los requisitos siguientes deben figurar en el pedido:

- a) 2t de barras redondas laminadas en caliente;
 - 1) conformes a la Norma Internacional ISO 1035-1;
 - 2) con un diámetro nominal de 30,00 mm;
 - 3) con una longitud nominal de 4 000 mm;

4) con una tolerancia sobre el diámetro de $\pm 0,30$ mm (clase S según la Norma Internacional ISO 1035 4:1982)

5) con una tolerancia sobre la longitud de 0+100 (clase L2 según la Norma Internacional ISO 1035-4);

6) todas las demás tolerancias, como las indicadas en la Norma Internacional ISO 1035-4 para los casos normales.

b) Superficie

1) trabajada en caliente.

c) Acero

1) conforme a esta norma internacional, tipo X153CrMoV12 (véase la tabla 4);

2) condición de tratamiento térmico: recocido (de ablandamiento) (símbolo +A, véase la tabla 1);

3) con certificado de inspección 3.1.B (véase la Norma Internacional ISO 10474).

d) Designación

2t Barras redondas ISO 1035-1-30,0 S x 4 000 L2
Acero ISO 4957 – X153CrMoV12 + A – 3.1.B

Tabla 1
Combinaciones de las condiciones de tratamiento térmico en el suministro y de los requisitos conforme a las tablas 2 a 9

| 4 | | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------|---|--|--|---|--|---|--|---|
| Requisitos aplicables a | | | | | | | | | | |
| 1 | | 2 | 3 | 4.1 | | 4.2 | | 4.3 | | 4.4 |
| Condiciones de tratamiento térmico en el suministro | | Símbolo ^a | | Aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío | | Aceros para herramientas aleados para trabajo en frío | | Aceros para herramientas aleados para trabajo en caliente | | Aceros rápidos para herramientas |
| 2 | No tratado | +U | | — ^c | | — ^c | | — ^c | | — ^c |
| 3 | Recocido (de ablandamiento) ^b | +A ^b | | Composición química conforme a la tabla 2 | | Composición química conforme a la tabla 4 | | Composición química conforme a la tabla 6 | | Composición química conforme a la tabla 8 |
| 4 | Recocido y estirado en frío | +A+C | | +A y nota b de la tabla 2 ^e | | +A y nota c de la tabla 4 ^e | | +A y nota c de la tabla 6 ^e | | +A y nota d de la tabla 8 ^e |
| | Recocido y laminado en frío ^d | +A+CR ^d | | Composición química conforme a las tablas 2 y 3 | | Composición química conforme a las tablas 4 y 5 | | Composición química conforme a las tablas 6 y 7 | | Composición química conforme a las tablas 8 y 9 |
| 5 | Templado y revenido ^f | +QT ^e | | — | | f | | f | | — |

a En el caso de que en el pedido no se haya especificado ninguna condición de tratamiento térmico, el producto se suministrará en la condición de tratamiento térmico habitual indicada en el apartado 4.1.2.1.

b Condición de tratamiento térmico más frecuente en el suministro.

c Además, se aplican los requisitos de dureza mínima en el ensayo de dureza. Para la verificación véase el apartado B.3.

d Únicamente para los aceros de la tabla 8.

e Principalmente para los bloques fabricados para moldes y matrices.

f Los requisitos de dureza deben ser objeto de un acuerdo en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

Tabla 2
Composición química (análisis de colada), dureza en la condición de recocido, temperatura de templeado y dureza en la condición de temple y revenido para los aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío

| Designación del acero | Composición química ^a , (% m/m) | | | | | Dureza (en la condición de recocido) ^b +A | Ensayo de templabilidad | | | |
|-----------------------|--|-------------|-------------|-------|-------|--|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| | C | Si | Mn | P | S | | Temperatura de temple | Medio de temple | Temperatura de revenido | Dureza HRC mín. |
| C45U | 0,42 a 0,50 | 0,15 a 0,40 | 0,60 a 0,80 | 0,030 | 0,030 | 207 ^c | 810 | W | 180 | 54 |
| C70U ^d | 0,65 a 0,75 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | 0,030 | 0,030 | 183 | 800 | W | 180 | 57 |
| C80U ^d | 0,75 a 0,85 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | 0,030 | 0,030 | 192 | 790 | W | 180 | 58 |
| C90U ^d | 0,85 a 0,95 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | 0,030 | 0,030 | 207 | 780 | W | 180 | 60 |
| C105 ^d | 1,00 a 1,10 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | 0,030 | 0,030 | 212 | 780 | W | 180 | 61 |
| C120 ^d | 1,15 a 1,25 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | 0,030 | 0,030 | 217 | 770 | W | 180 | 62 |

a Los elementos que no figuran en esta tabla no pueden añadirse intencionalmente en la composición del acero sin la autorización del comprador, con excepción de los destinados a la finalización de la colada. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la incorporación, a partir de las chatarras y de las materias primas utilizadas en la fabricación del acero, de elementos susceptibles de afectar a la templabilidad, las características mecánicas o la aptitud del acero en sus aplicaciones previstas.

b La dureza, en la condición de estirado en frío (+A/+C) puede ser 20 HB mayor que en la condición de recocido (+A).

c Este tipo se utilizará en la condición de no tratado térmicamente.

d Los tipos de acero C70U a C120U son, por su composición química, aceros para temple superficial. Para un diámetro de 30 mm, la profundidad de penetración del temple debe ser aproximadamente de 3 mm. El templeado al núcleo se puede alcanzar sólo en el caso de diámetros iguales o inferiores a 10 mm.

Tabla 3
Desviaciones admisibles entre el análisis especificado y el análisis de producto
para los aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío (véase la tabla 2)

| Desviaciones admisibles, (% m/m) | | | | |
|---|--------|--------|---------|---------|
| C | Si | Mn | P | S |
| ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | ± 0,005 | ± 0,005 |
| <p>NOTA – En una misma colada, la desviación se puede producir por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo, de los límites de los rangos especificados, pero nunca las dos a la vez, cuando se especifique sólo un valor máximo, las desviaciones serán positivas únicamente.</p> <p>Los valores sólo son válidos si las muestras se han tomado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 14284, y representan la composición media de la sección transversal del producto.</p> | | | | |

Tabla 4
Composición química (análisis de colada), dureza en la condición de recocido, temperatura de templeado y dureza en la condición de temple y revenido para los aceros para herramientas aleados para trabajo en frío

| Designación del acero | Composición química ^{a, b} , (% m/m) | | | | | | | | Dureza (en la condición de recocido) ^c +A HB máx. | Ensayo de templeabilidad | | | |
|-----------------------------|---|-------------|-------------|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|---|---------------------------------------|------------------------------|---|--------------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mo | Ni | V | W | | Temperatura de temple °C (± 10 °C) | Medio de temple ^e | Temperatura de revenido °C (± 10 °C) | Dureza HRC mín. |
| 105V | 1,00 a 1,10 | 0,10 a 0,30 | 0,10 a 0,40 | — | — | — | 0,10 a 0,20 | — | 212 | 790 | W | 180 | 61 |
| 50WCrV8 | 0,45 a 0,55 | 0,70 a 1,00 | 0,15100,45 | 0,90 a 1,20 | — | — | 0,10 a 0,20 | 1,70 a 2,30 | 229 | 920 | O | 180 | 56 |
| 60WCrV8 | 0,55 a 0,65 | 0,70 a 1,00 | 0,15 a 0,45 | 0,90 a 1,20 | — | — | 0,10 a 0,20 | 1,70 a 2,30 | 229 | 910 | O | 180 | 58 |
| 102Cr6 | 0,95 a 1,10 | 0,15 a 0,35 | 0,25 a 0,45 | 1,35 a 1,65 | — | — | — | — | 223 | 840 | O | 180 | 60 |
| 21MnCr5 | 0,18 a 0,24 | 0,15 a 0,35 | 1,10 a 1,40 | 1,00 a 1,30 | — | — | — | — | 217 | e | e | e | e |
| 70MnMoCr8 | 0,65 a 0,75 | 0,10 a 0,50 | 1,80 a 2,50 | 0,90 a 1,20 | 0,90 a 1,40 | — | — | — | 248 | 835 | A | 180 | 58 |
| 90MnCrV8 | 0,85 a 0,95 | 0,10 a 0,40 | 1,80 a 2,30 | 0,20 a 0,50 | — | — | 0,05 a 0,20 | — | 229 | 790 | O | 180 | 60 |
| 92MnWCr5 | 0,90 a 1,00 | 0,10 a 0,40 | 1,05 a 1,35 | 0,40 a 0,65 | — | — | 0,05 a 0,20 | 0,40 a 0,70 | 229 | 900 | O | 180 | 60 |
| X100CrMoV5 | 0,95 a 1,05 | 0,10 a 0,40 | 0,40 a 0,80 | 4,80 a 5,50 | 0,90 a 1,20 | — | 0,15 a 0,35 | — | 241 | 970 | A | 180 | 60 |
| X14CrMoV12 | 1,45 a 1,60 | 0,10 a 0,60 | 0,20 a 0,60 | 11,00 a 13,00 | 0,70 a 1,00 | — | 0,70 a 1,00 | — | 255 | 1 070 | A | 180 | 61 |
| X210Cr12 | 1,90 a 2,30 | 0,10 a 0,60 | 0,20 a 0,60 | 11,00 a 13,00 | — | — | — | — | 248 | 970 | O | 180 | 62 |
| X210CrW12 | 2,00 a 2,30 | 0,10 a 0,40 | 0,30 a 0,60 | 11,00 a 13,00 | — | — | — | 0,60 a 0,80 | 255 | 970 | O | 180 | 62 |
| 35CrMo7 | 0,30 a 0,40 | 0,30 a 0,70 | 0,60 a 1,00 | 1,50 a 2,00 | 0,35 a 0,55 | — | — | — | f | — | — | — | f |
| 40XrMnMo08-0-4 ^b | 0,35 a 0,45 | 0,20 a 0,40 | 1,30 a 1,60 | 1,80 a 2,10 | 0,15 a 0,25 | 0,90 a 1,205 | — | — | f | — | — | — | f |
| 43NiCrMo16 | 0,40 a 0,50 | 0,10 a 0,40 | 0,20 a 0,50 | 1,20 a 1,50 | 0,15 a 0,35 | 3,80 a 4,30 | — | — | 285 | 850 | O | 180 | 52 |
| X40Cr14 ^b | 0,36 a 0,42 | ≤ 1,00 | ≤ 1,00 | 12,50 a 14,50 | — | — | — | — | 241 | 1 010 | O | 180 | 52 |
| X38CrMo16 ^b | 0,33 a 0,45 | ≤ 1,00 | ≤ 1,50 | 15,50 a 17,50 | 0,80 a 1,30 | ≤ 1,00 | — | — | f | — | — | — | f |

a Los elementos que no figuren en esta tabla no pueden añadirse intencionalmente en la composición del acero sin la autorización del comprador, con excepción de los destinados a la finalización de la colada. Se requieren las precauciones necesarias para evitar la incorporación, a partir de las chaparras y de las herramientas, de las inclusiones y de las inclusiones, para evitar la contaminación del acero, de elementos susceptibles de afectar a la templeabilidad, las características mecánicas o la aptitud del acero en sus aplicaciones previstas.

b Para todos los aceros: fósforo ≤ 0,030% y azufre ≤ 0,030% (véase la nota g).

c La dureza, en la condición de estado en frío (+A+O) puede ser 20 HB mayor que en la condición de recocido (+A).

d Medio de temple: A = agua, O = aceite, W = agua.

e Este material cuando se cementa, temple y revena, debe alcanzar una dureza en superficie de 60 HRC.

f Este acero se suministra normalmente en la condición de temple y revenido con una dureza aproximada de 300 HB.

g Por acuerdo, el contenido en azufre se puede incrementar entre 0,050% y 0,100% y el Ni se puede omitir.

h Este acero también se puede suministrar en la condición de templeado normalmente con una dureza aproximada de 300 HB.

a Los elementos que no figuran en esta tabla no pueden añadirse intencionalmente en la composición del acero sin la autorización del comprador, con excepción de los destinados a la finalización de la colada. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la incorporación, a partir de las chaparras y de las materias primas utilizadas en la fabricación del acero, de elementos susceptibles de afectar a la templeabilidad, las características mecánicas o la aptitud del acero en sus aplicaciones previstas.

b Para todos los aceros: fósforo ≤ 0,030%, y azufre ≤ 0,030% (véase la nota g).

c La dureza, en la condición de estirado en frío (+A-°C) puede ser 20 HB mayor que en la condición de recocido (-A).

d Medio de temple: A = aire, O = aceite, W = agua.

e Este material, cuando se calienta, temple y revena, debe alcanzar una dureza en superficie de 60 HRC.

f Este acero se suministra normalmente en la condición de temple y revenido con una dureza aproximada de 300 HB.

g Por acuerdo, el contenido en azufre se puede incrementar entre 0,050% y 0,100% y el Ni se puede omitir.

h Este acero también se puede suministrar en la condición de prebando térmicamente con una dureza aproximada de 300 HB.

Tabla 5
Desviaciones admisibles entre el análisis especificado y el análisis de producto
para los aceros para herramientas aleados para trabajo en frío (véase la tabla 4)

| Designación del acero | Desviaciones admisibles ^a , (% m/m) | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | V | W | |
| 105V | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | - | - | - | ± 0,02 | - | |
| 50WCrV8 | ± 0,03 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | ± 0,02 | ± 0,07 | |
| 60WCrV8 | ± 0,03 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | ± 0,02 | ± 0,07 | |
| 102Cr6 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,07 | - | - | - | - | |
| 21MnCr5 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,08 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | - | - | |
| 70MnMoCr8 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,08 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | ± 0,05 | - | - | - | |
| 90MnCrV8 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,08 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | ± 0,02 | - | |
| 95MnCrW5 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,06 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | ± 0,02 | ± 0,04 | |
| X100CrMoV5 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,05 | - | ± 0,03 | - | |
| X153CrMoV12 | ± 0,04 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,15 | ± 0,05 | - | ± 0,04 | - | |
| X210Cr12 | ± 0,05 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,15 | - | - | - | - | |
| X210CrW12 | ± 0,05 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,15 | - | - | - | ± 0,04 | |
| 35CrMo7 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,07 | ± 0,05 | - | - | - | |
| 40CrMnNiMo8-6-4 ^b | + 0,03 | + 0,03 | ± 0,08 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,07 | ± 0,03 | ± 0,07 | - | - | |
| 45NiCrMo16 | ± 0,03 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,07 | ± 0,03 | ± 0,07 | - | - | |
| X40Cr14 | ± 0,03 | + 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,15 | - | - | - | - | |
| X38CrMo16 | ± 0,03 | + 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,15 | ± 0,05 | + 0,07 | - | - | |

a En una misma colada, la desviación se puede producir por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo, de los límites de los rangos especificados, pero nunca las dos a la vez cuando se especifica solo un valor máximo, las desviaciones serán positivas únicamente.

Los valores solo son válidos si las muestras se han tomado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 14284, y representan la composición media de la sección transversal del producto.

b Si para ese tipo se ha acordado un intervalo de contenido en azufre, la desviación admisible debe ser ± 0,010%.

^a En una misma colada, la desviación se puede producir por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo, de los límites de los rangos especificados, pero nunca las dos a la vez, cuando se especifique solo un valor máximo, las desviaciones serán positivas únicamente.

Los valores solo son válidos si las muestras se han tomado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 14284, y representan la composición media de la sección transversal del producto.

^b Si para este tipo se ha acordado un intervalo de contenido en azufre, la desviación admisible debe ser ± 0,010%.

Tabla 6
Composición química (análisis de colada), dureza en la condición de recocido, temperatura de templeado y dureza en la condición de temple y revenido para los aceros para herramientas para trabajo en caliente

| Designación del acero | Composición química ^a , (% m/m) | | | | | | | | | | Dureza (en la condición de recocido) ^c HB _{max} | Ensayo de templeabilidad | | | Dureza HRC |
|-------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|--|------------------|--|------------------------------|---|--|------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | W | Otros | | | Temperatura de temple °C (± 10 °C) | Medio de temple ^d | Temperatura de revenido °C (± 10 °C) | | |
| 55NiCrMoVT ^e | 0,50 a 0,60 | 0,10 a 0,40 | 0,60 a 0,90 | 0,80 a 1,20 | 0,35 a 0,55 | 0,05 a 0,15 | | Ni: 1,50 a 1,80 | | 248 ^f | 850 | 0 | 500 | | 42 |
| 33CrNiMoV 12-28 | 0,28 a 0,35 | 0,10 a 0,40 | 0,15 a 0,45 | 2,70 a 3,20 | 2,50 a 3,00 | 0,40 a 0,70 | | - | | 229 | 1 040 | 0 | 550 | | 46 |
| X37CrNiMoV5-1 | 0,33 a 0,41 | 0,80 a 1,20 | 0,25 a 0,50 | 4,80 a 5,50 | 1,10 a 1,50 | 0,30 a 0,50 | | - | | 229 | 1 020 | 0 | 550 | | 48 |
| X38CrNiMoV5-3 | 0,35 a 0,40 | 0,30 a 0,50 | 0,30 a 0,50 | 4,80 a 5,20 | 2,70 a 3,20 | 0,40 a 0,60 | | - | | 229 | 1 040 | 0 | 550 | | 50 |
| X40CrNiMoV5-1 | 0,35 a 0,42 | 0,80 a 1,20 | 0,25 a 0,50 | 4,80 a 5,50 | 1,20 a 1,50 | 0,85 a 1,15 | | - | | 229 | 1 020 | 0 | 550 | | 50 |
| 50CrNiMoV13-15 | 0,45 a 0,55 | 0,20 a 0,80 | 0,50 a 0,90 | 3,00 a 3,50 | 1,30 a 1,70 | 0,15 a 0,35 | | - | | 248 | 1 010 | 0 | 510 | | 56 |
| X30WCrV9-3 | 0,25 a 0,35 | 0,10 a 0,40 | 0,15 a 0,45 | 2,50 a 3,20 | - | 0,30 a 0,50 | 8,50 a 9,50 | - | | 241 | 1 150 | 0 | 600 | | 48 |
| X35CrNiMoV5 | 0,32 a 0,40 | 0,80 a 1,20 | 0,20 a 0,50 | 4,75 a 5,50 | 1,25 a 1,60 | 0,20 a 0,50 | 1,10 a 1,60 | - | | 229 | 1 020 | 0 | 550 | | 48 |
| 38CrCoW18-17-17 | 0,35 a 0,45 | 0,15 a 0,50 | 0,20 a 0,50 | 4,00 a 4,70 | 0,30 a 0,50 | 1,70 a 2,10 | 3,80 a 4,50 | Co 4,00 a 4,50 | | 260 | 1 120 | 0 | 600 | | 48 |

a Los elementos que no figuran en esta tabla no pueden añadirse intencionalmente en la composición del acero sin la autorización del comprador, con excepción de los destinados a la finalización de la colada. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la incorporación, a partir de las chatarras y de las materias primas utilizadas en la fabricación del acero, de elementos susceptibles de afectar a la templeabilidad, las características mecánicas o la aptitud del acero en sus aplicaciones previstas.

b Para todos los aceros (salvo especificación en contrario): fósforo ≤ 0,030% y azufre ≤ 0,020%.

c La dureza, en la condición de estirado en frío (+A+C) puede ser 20 HB mayor que en la condición de recocido (+A).

d Medio de temple: 0 = aceite. Los medios habituales de templeado para las herramientas son el agua, el gas y el baño de sales.

e Este tipo de acero tiene un contenido en azufre ≤ 0,030%.

f Para las dimensiones más grandes, este acero se suministra normalmente en la condición de temple y revenido con una dureza aproximada de 300 HB.

g Este valor se aplica únicamente a las dimensiones pequeñas.

Tabla 7
Desviaciones admisibles entre el análisis especificado y el análisis de producto
para los aceros para herramientas aleados para trabajo en caliente (véase la tabla 6)

| Designación del acero | Desviaciones admisibles, (% m/m) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | C | SI | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Co | V | W |
| 55NiCrMoV7 | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | ± 0,04 | ± 0,07 | - | ± 0,02 | - |
| 32CrMoV12-28 | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,10 | - | - | ± 0,04 | - |
| X37CrMoV5-1 | ± 0,02 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,05 | - | - | ± 0,04 | - |
| X38CrMoV5-3 | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,10 | - | - | ± 0,04 | - |
| X40CrMoV5-1 | ± 0,02 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,05 | - | - | ± 0,05 | - |
| 50CrMoV13-15 | ± 0,02 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,05 | - | - | ± 0,04 | - |
| X30WCrV9-3 | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | - | - | - | ± 0,04 | ± 0,10 |
| X35CrWMoV5 | ± 0,02 | ± 0,05 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,05 | - | - | ± 0,04 | ± 0,07 |
| 38CrCoWV18-17-17 | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,04 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,10 | ± 0,04 | - | ± 0,10 | ± 0,10 | ± 0,10 |

NOTA - En una misma colada, la desviación se puede producir por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo, de los límites de los rangos especificados, pero nunca las dos a la vez cuando se especifique solo un valor máximo, las desviaciones serán positivas únicamente.

Los valores sólo son válidos si las muestras se han tomado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 14284, y representan la composición media de la sección transversal del producto.

NOTA – En una misma colada, la desviación se puede producir por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo, de los límites de los rangos especificados, pero nunca las dos a la vez, cuando se especifique solo un valor máximo, las desviaciones serán positivas únicamente.

Los valores solo son válidos si las muestras se han tomado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 14284, y representan la composición media de la sección transversal del producto.

Tabla 8

Composición química (análisis de colada), dureza en la condición de recocido, temperatura de temple y dureza en la condición de temple y revenido para los aceros rápidos para herramientas

| Designación del acero | Composición química ^{a,c} , (% w/w) | | | | | | Dureza (en la condición de recocido) ^d +A HB max | Ensayo de templeabilidad ^e | | | Dureza HRC min. |
|-----------------------|--|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--|---------------------------------------|------------------------------|--|-----------------|
| | C | Co | Cr | Mn | V | W | | Temperatura de temple °C(± 10 °C) | Medio de temple ^f | Temperatura de revenido °C(± 10 °C) min. | |
| HSO-4-1 | 0,77 a 0,85 | – | 3,90 a 4,40 | 4,00 a 4,50 | 0,90 a 1,10 | – | 262 | 1 120 | | 560 | 60 |
| HS1-4-2 | 0,85 a 0,95 | – | 3,60 a 4,30 | 4,10 a 4,80 | 1,70 a 2,20 | 0,80 a 1,40 | 262 | 1 180 | | 560 | 63 |
| HS18-0-1 | 0,73 a 0,83 | – | 3,80 a 4,50 | – | 1,00 a 1,20 | 17,20 a 18,70 | 269 | 1 260 | | 560 | 63 |
| HS2-9-2 | 0,95101,05 | – | 3,50 a 4,50 | 8,20 a 9,20 | 1,70 a 2,20 | 1,50 a 2,10 | 269 | 1 200 | | 560 | 64 |
| HS1-8-1 | 0,77 a 0,87 | – | 3,50 a 4,50 | 8,00 a 9,00 | 1,00 a 1,40 | 1,40 a 2,00 | 262 | 1 190 | | 560 | 63 |
| HS3-3-2 | 0,95 a 1,03 | – | 3,80 a 4,50 | 2,50 a 2,90 | 2,20 a 2,50 | 2,70 a 3,00 | 255 | 1 190 | | 560 | 62 |
| HS6-5-2 | 0,80 a 0,88 | – | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,20 | 1,70 a 2,10 | 5,90 a 6,70 | 262 | 1 220 | | 560 | 64 |
| HS6-5-2C ^g | 0,86 a 0,94 | – | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,20 | 1,70 a 2,10 | 5,90 a 6,70 | 269 | 1 210 | | 560 | 64 |
| HS6-5-3 | 1,15 a 1,25 | – | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,20 | 2,70 a 3,20 | 5,90 a 6,70 | 269 | 1 200 | | 560 | 64 |
| HS6-5-3C | 1,25 a 1,32 | – | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,20 | 2,70 a 3,20 | 5,90 a 6,70 | 269 | 1 180 | | 560 | 64 |
| HS6-6-2 | 1,00 a 1,10 | – | 3,80 a 4,50 | 5,50 a 6,50 | 2,30 a 2,60 | 5,90 a 6,70 | 262 | 1 200 | | 560 | 64 |
| HS6-5-4 | 1,25 a 1,40 | – | 3,80 a 4,50 | 4,20 a 5,00 | 3,70 a 4,20 | 5,20 a 6,00 | 269 | 1 210 | | 560 | 64 |
| HS65-2-5 ^g | 0,87 a 0,95 | 4,50 a 5,00 | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,20 | 1,70 a 2,10 | 5,90 a 6,70 | 269 | 1 210 | | 560 | 64 |
| HS6-5-3-8 | 1,23 a 1,33 | 8,00 a 8,80 | 3,80 a 4,50 | 4,70 a 5,30 | 2,70 a 3,20 | 5,90 a 6,70 | 302 | 1 180 | | 560 | 65 |
| HS10-4-3-10 | 1,20 a 1,35 | 9,50 a 10,50 | 3,80 a 4,50 | 3,20 a 3,90 | 3,00 a 3,50 | 9,00 a 10,00 | 302 | 1 230 | | 560 | 66 |
| HS2-9-1-8 | 1,05 a 1,15 | 7,50 a 8,50 | 3,50 a 4,50 | 9,00 a 10,00 | 0,90 a 1,30 | 1,20 a 1,90 | 277 | 1 190 | | 550 | 66 |

a Los elementos que no figuran en esta tabla no pueden añadirse intencionalmente en la composición del acero sin la autorización del comprador, con excepción de los destinados a la finalización de la colada. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la incorporación, a partir de las chatarras y de las materias primas utilizadas en la fabricación del acero, de elementos susceptibles de afectar la templeabilidad, las características mecánicas o la aptitud del acero en sus aplicaciones previstas.

b Máximo 0,40% Mn salvo indicación en contrario (véase la nota g).

c Máximo 0,030% P y máximo 0,030% S.

d La dureza en la condición de recocido y entonado en frío (+A+C) puede ser 50 HB mayor que en la condición de recocido; la dureza en la condición de recocido y laminado en frío (+A+CR) puede ser 70 HB mayor que en la condición de recocido (+A).

e Para el ensayo de templeabilidad de referencia, aceite o baño de sales; en caso de litigio, sólo aceite. En la práctica, los medios de temple más comunes son: aire, gas o baño de sales.

f Véase el apartado B.3.

g Para este tipo de acero se puede acordar, en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido, un intervalo en el contenido de azufre de 0,0060% a 0,150%. En este caso, se aplica un máximo de 0,80% Mn.

ANEXO B (Normativo)

REQUISITOS ESPECIALES O SUPLEMENTARIOS

B.1 Generalidades

Los requisitos suplementarios o especiales que se recogen a continuación pueden aplicarse aislada o simultáneamente, solamente por indicación recogida en la oferta o el pedido. Si es preciso, los detalles de cada requisito serán objeto de acuerdo entre el fabricante y el cliente al hacer el pedido.

B.2 Análisis de producto

Debe efectuarse un análisis de producto por colada para todos los elementos cuyos valores están especificados en el análisis de colada del tipo de acero considerado.

Las condiciones de muestreo deben ser conformes a la Norma Internacional ISO 14284. En caso de litigio acerca del método de análisis, la composición debe ser determinada conforme a un método de referencia elegido entre las normas internacionales recogidas en el Informe Técnico ISO/TR 9769.

B.3 Verificación de la dureza mínima en el ensayo de templabilidad

La dureza mínima especificada para el ensayo de templabilidad en las tablas 2, 4, 6 y 8 debe ser verificada en las condiciones siguientes:

Para el ensayo de templabilidad, se debe extraer una probeta de la muestra conforme a las condiciones indicadas en la figura 1.

Las probetas deben ser por templadas y revenidas conforme a las condiciones indicadas en las tablas 2, 4, 6 y 8, evitando la descarburación. Las muestras de producto en la condición de no tratado pueden, a juicio del fabricante, someterse a un tratamiento de recocido antes del templado y del revenido. El tiempo total de calentamiento de las probetas en un baño de sales debe ser conforme al indicado en la tabla B.1 siguiente:

Tabla B.1

Tiempo total de calentamiento de las probetas en un baño de sales

| Naturaleza del acero | Tiempo total de calentamiento para | |
|---|------------------------------------|----------------------------------|
| | temple | revenido |
| Aceros para trabajo en frío o en caliente (Tablas 2, 4 y 6) | 25 ± 1 | |
| Aceros rápidos (Tabla 8) | 3 | Mínimo 2 periodos de 60 cada uno |

Si las probetas no se calientan en un baño de sales, el tiempo de calentamiento debe aumentarse en consecuencia.

La superficie que contenga el plano de corte debe ser preparada y la dureza debe ser medida, conforme a la Norma Internacional ISO 6508.

B.4 Estructura

La estructura debe satisfacer los requisitos acordados en la momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

NOTA – La estructura de los aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío (véase la tabla 2) se compone de ferrita y carburos.

La estructura de los aceros para herramientas aleados para trabajo en frío (véase la tabla 4) se compone de ferrita y carburos), excepto la de los aceros con un 12% de Cr. Los carburos no deben, en la medida de los posible, concentrarse en los bordes de los granos. Los aceros para trabajo en frío con » 12% de Cr, también contienen una mayor proporción de carburos eutécticos. Estos se disponen en líneas o en redes según el grado de deformación. Su magnitud está determinada por el tamaño de los lingotes o polvos utilizados y del grado de deformación necesario para obtener las dimensiones finales.

La estructura de los aceros para herramientas para trabajo en caliente (véase la tabla 6) se compone de ferrita y carburos. En el caso de grandes dimensiones, en particular, se permiten zonas con segregaciones, siempre que las características del acero utilizado no se vean afectadas de una manera significativa por éstas. Los carburos no deben, si es posible, concentrarse en los bordes de los granos.

La estructura de los aceros rápidos (véase la tabla 8) se compone de ferrita, de carburos eutécticos y de carburos secundarios. El tamaño de los carburos depende del tamaño de los lingotes o de los polvos utilizados y de las condiciones de transformación. En el caso de grandes espesores, es probable que el tamaño de los carburos eutécticos aumente. Los aceros rápidos con alto contenido en vanadio y en tungsteno tienen carburos más grandes. Los carburos eutécticos se disponen en líneas o en redes según el grado de deformación utilizado.

B.5 Calidad superficial

La calidad superficial debe cumplir con los requisitos acordados en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

Los detalles relativos a la toma de muestras y a la preparación de las probetas para el ensayo de calidad superficial deben igualmente ser objeto de una acuerdo en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

B.6 Control dimensional especial

La forma y las dimensiones deben ser inspeccionadas sobre un número acordado de productos.

B.7 Tolerancias de masa

Las tolerancias de masa deben cumplir con los requisitos acordados en el momento de solicitar la oferta y el pedido.

NOTA – Para el cálculo de la masa nominal de los productos, deben usarse los siguientes valores de densidad:

Para los aceros con un contenido aproximado en W de 18%..... 8,7 kg/dm³

Para los aceros con un contenido aproximado en W de 12%..... 8,4 kg/dm³

Para los aceros con un contenido aproximado en W de 6%..... 8,2 kg/dm³

Para los aceros con un contenido aproximado en W de 3%
(incluido los aceros 60WCrV8).....8,0 kg/dm³

Para los aceros con un contenido aproximado en Cr de 12%..... 7,6 kg/dm³

Para todos los otros aceros..... 7,85 kg/dm³

B.8 Acuerdos especiales para el mercado

Los productos deben ser marcados en función de los acuerdos particulares efectuados en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.

DESIGNACIONES DE LOS ACEROS EQUIVALENTES

Tabla C.1

Designaciones de los aceros indicados en las tablas 2, 4, 6 y 8 y de los tipos equivalentes recogidos en diversas normas regionales o nacionales o sistemas de designaciones

| Designación de los aceros conforme a | | |
|--|-----------------|----------|
| ISO 4957:1999 | EN 10027-2:1992 | JIS |
| Aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío | | |
| C45U | 1.1730 | – |
| C70U | 1.1520 | SK7 |
| C80U | 1.1525 | SK6 |
| C90U | 1.1535 | SK5, SK4 |
| C105U | 1.1545 | SK3 |
| C120U | 1.1555 | SK2 |
| Aceros para herramientas aleados para trabajo en frío | | |
| 105V | 1.2834 | SKS43 |
| 50WCrV8 | 1.2549 | – |
| 60WCrV8 | 1.2550 | – |
| 102Cr6 | 1.2067 | – |
| 21MnCr5 | 1.2162 | – |
| 70MnMoCr8 | 1.2824 | – |
| 90MnCrV8 | 1.2842 | – |
| 95MnWCr5 | 1.2825 | – |
| X100CrMoV5 | 1.2363 | SKD12 |
| X153CrMoV12 | 1.2379 | – |
| X210Cr12 | 1.2080 | – |
| X210CrW12 | 1.2436 | – |
| 35CrMo7 | 1.2302 | – |
| 40CrMnNiMo8-6-4 | 1.2738 | – |
| 45NiCrMo16 | 1.2767 | – |
| X40Cr14 | 1.2083 | – |
| X38CrMo16 | 1.2316 | – |
| Aceros para herramientas para trabajo en caliente | | |
| 55NiCrMoV7 | 1.2714 | SKT4 |
| 32CrMoV12-28 | 1.2365 | SKD7 |
| X37CrMoV5-1 | 1.2343 | SKD6 |
| X38CrMoV5-3 | 1.2367 | – |
| X40CrMoV5-1 | 1.2344 | SKD61 |
| 50CrMoV13-15 | 1.2355 | – |
| X30WCrV9-3 | 1.2581 | SKD5 |
| X35CrWMoV5 | 1.2605 | SKD62 |
| 38CrCoWV18-17-17 | 1.2661 | SKD8 |

2.2. Denominación de la antigua Norma UNE 36009:1972

Es muy común ver en libros, textos, etc la antigua Norma UNE 36009:1972 por lo que en este apartado se explicara la norma.

La Norma viene a se:

Norma UNE 36009:1972

La designación se basa en un código con cuatro campos

F- 0 0 00

-F- La designación numérica de los aceros comienza siempre por la letra mayúscula F seguida de un guión.

-0 La primera cifra indica grandes grupos de aceros, siguiendo preferentemente un criterio de utilización.

-0 La segunda cifra establece distintos subgrupos afines dentro de cada grupo.

-00 Las dos últimas cifras, sin valor significativo, sólo tienen por misión la clasificación y la distinción entre elementos, según se van definiendo cronológicamente.

De acuerdo con este criterio, se distinguen los siguientes grupos:

-Aceros especiales: grupos 1, 2, 3, 4 ó 5.

-Aceros de uso general: grupos 6 ó 7.

-Aceros moldeados: grupo 8. **Grupo 1**

F-11XX Aceros no aleados especiales para temple y revenido.

F-12XX Aceros aleados de calidad para temple y revenido.

F-14XX Aceros aleados especiales.

F-15XX Aceros al carbono y aleados para cementar.

Grupo 2

F-26XX Chapas y bandas de acero aleado para calderas y aparatos a presión.

Grupo 3

F-3XXX Aceros inoxidables de uso general.

Grupo 5

F-51XX Aceros no aleados para herramientas.

F-52XX Aceros aleados para herramientas.

F-53XX Aceros aleados para herramientas de trabajo en caliente.

F-55XX Aceros para herramientas de corte rápido.

F-56XX Aceros para herramientas de corte rápido.

Grupo 6

F- 6XXX Aceros para la construcción.

Grupo 7

F-72XX Aceros para semiproductos de uso general.

F-73XX Aceros al carbono para bobinas.

F-74XX Aceros al carbono para alambres.

Grupo 8

F-81XX Aceros moldeados para usos generales.

F-82XX Aceros moldeados de baja aleación resistentes a la abrasión.

F-83XX Aceros moldeados de baja aleación para usos generales.

F-84XX Aceros moldeados inoxidables.

En el grupo 5 encontramos a los aceros de herramientas, que en resumidas cuentas vienen a designarse F-5XXX

| | | | | |
|------------------|--|------|-------------------------------------|---|
| 36-071-75 | Aceros al carbono para herramientas | | | |
| F-5 103 | Acero al C para herramientas | 0,75 | | Herramientas de carpintero, barrenas, brocas, cuchillos, navajas, agujas de coser y de inyecciones, etc. |
| F-5 117 | Acero al C para herramientas | 1 | | Matrices para embutir, troqueles, cuchillas, brocas para hierros, aceros y metales; machos de roscar, troqueles, martillos para piedra, tipos de imprenta, punzones, escoplos, etc. |
| F-5 118 | Acero al C para herramientas | 1,1 | V 0,25 | Fresas, rasquetas, trépanos, brocas, terrajas, escariadores, galgas, instrumentos de cirugía, peines de roscar, navajas de afeitar, etc. |
| F-5 127 | Acero al C para herramientas | 1,4 | | Cuchillas de torno, hojas de afeitar, limas para metales; pinzas, brocas, hileras, sierras. |
| 36-072-75 | Aceros aleados para herramientas | | | |
| F-5 212 | Acero indeformable al Cr | 2,05 | Cr 12 | Matrices cortantes de forma complicada, escariadores, machos para roscar, cuchillas para cizallas, etc. |
| F-5 220 | Acero indeformable al Cr-Mn | 1 | Cr 0,5; Mn 1,2; W 0,55 | Útiles para roscar, machos, matrices, escariadores... |
| F-5 241 | Acero para trabajos de choque. | 0,45 | Cr 1,05; V 0,2; W 2 | Buriles, punzones, buterolas, escoplos... |
| F-5 313 | Acero para trabajos en caliente al W. | 0,3 | W 9; Cr 3; V 0,4 | Matrices y punzones para trabajo en caliente de alto rendimiento; moldes para fundición inyectada, etc. |
| F-5 217 | Acero para trabajos en caliente al Cr-Mo-V. | 0,35 | V 0,4; Cr 5; Mo 1,45 | Como el anterior para temperaturas menores. |
| F-5 307 | Acero para matrices en caliente al Cr-Ni-Mo. | 0,55 | Cr 1,1; Ni 1,75; Mo 0,4 | Matrices para estampado en serie y en caliente de todas clases, etc. |
| F-5 237 | Acero de herramientas de gran dureza. | 1,05 | Cr 0,55; W 1,3; V 0,2 | Matrices para trabajar en frío, útiles de estirar... |
| 36-073-75 | Aceros rápidos | | | |
| F-5 520 | Aceros rápidos 18 % W | 0,75 | Cr 4; W 18; V 1 | Cuchillas y otros útiles para torneear, cepillar, fresar, taladrar. |
| F-5 530 | Aceros extrarrápidos 5 % Co. | 0,8 | Cr 4; W 18; V 1,35 Co 5; Mo 0,65 | Útiles de corte de gran rendimiento y duración en materiales de gran resistencia. |
| F-5 540 | Aceros extrarrápidos 10 % Co. | 0,8 | Cr 4; W 18; V 1,55 Mo 1; Co 10 | Útiles de corte de máximo rendimiento. |

2.3. Tipos de aceros de herramientas

Según la Norma UNE-ISO 4957 encontramos cuatro tipo de aceros de herramientas:

- Aceros no aleados para herramientas
- Aceros aleados para trabajo en frío
- Aceros aleados para trabajos en caliente
- Aceros rápidos

2.3.1. Aceros no aleados para herramientas

Son aceros de herramientas con contenidos de carbono entre 0,60 y 1,50 por ciento, algunas veces pueden llevar algo de Cr o V para mejorar la templabilidad y la resistencia al desgaste.

En general, son aceros menos costosos que los aleados y con un tratamiento térmico adecuado puede obtenerse una superficie dura martensítica con un núcleo tenaz.

Deben templarse en agua, por lo que se someten a una deformación considerable.

Presenta buena maquinabilidad pero tienen poca resistencia al calor; por lo que su uso está limitado a condiciones que incluyen bajas velocidades y cortes ligeros en materiales relativamente blandos, como madera, latas, aluminio y aceros blandos.

La antigua designación de UNE, corresponde al grupo F-51XX

Ejemplos de aceros no aleados para herramientas de la antigua Norma UNE

| Designación UNE | | Composición química | | | | | | | | | | | Templabilidad + diámetro crítico en pulgadas | Resistencia a la tracción, Temple y Revenido. kg/mm ² |
|---|-----------|---------------------|-----------|-----------|------------|------------|------|------|------|-----------|-----|------|--|--|
| Númerica | Simbólica | C % | Mn % | Si % | P % máximo | S % máximo | Ni % | Cr % | Mo % | V % | W % | Co % | | |
| Aceros no aleados para herramientas UNE 36 071-75 | | | | | | | | | | | | | | |
| F-5 103 | C 70 | 0,65-0,74 | 0,35 máx. | 0,35 máx. | 0,030 | 0,030 | | | | | | | | |
| F-5 117 | C 102 | 0,95-1,09 | 0,35 máx. | 0,35 máx. | 0,030 | 0,030 | | | | | | | | |
| F-5 118 | 102 V | 0,95-1,09 | 0,35 máx. | 0,35 máx. | 0,030 | 0,030 | | | | | | | | |
| F-5 127 | C 140 | 1,30-1,50 | 0,35 máx. | 0,35 máx. | 0,030 | 0,030 | | | | 0,10-0,35 | | | | |

APLICACIONES DE LOS ACEROS NO ALEADOS PARA HERRAMIENTAS

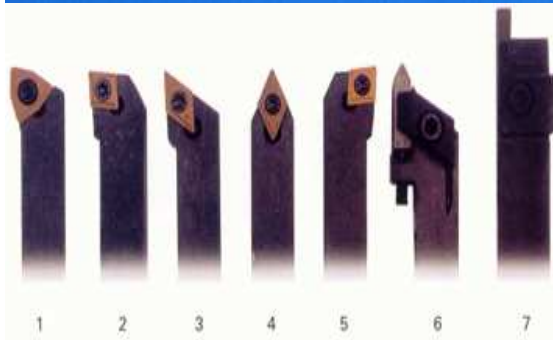
-Elementos de maquinaria agrícola, alicates, tenazas, martillos, destornilladores, etc.

-Herramientas, picos, palas, cinceles, cortafríos, martillos de forja, tijeras, hachas, etc.

-Matrices para embutir troqueles, tipos de imprenta, punzones, escoplos, etc.

-Fresas, raquetas, buriles, herrajes, escariadores, galgas, instrumentos de cirugía, peines de roscar, navajas de afeitar, etc.

-Cuchillas de torno, hojas de afeitar, limas para hierros, aceros y metales, pinzas, brocas, hileras, sierras metálicas, herramientas de cincelador, grabador, relojero, etc.



2.3.2. Aceros aleados para trabajos en frío

Un acero se considera que trabaja en frío cuando en su uso la temperatura sea inferior a 200°C.

Este es el grupo más importante de los aceros de herramientas, ya que para la mayoría de las aplicaciones para herramientas pueden efectuarlas algunos de los aceros de este grupo.

Se puede temprar en aceite, por lo que evita la deformación.

Las propiedades finales varían con el grado de aleación. Una baja aleación proporciona buena maquinabilidad, tenacidad media alta y dureza en caliente escasa, propiedades a los aceros sin alear. Una aleación media, con un 1 por ciento proporciona mayor templabilidad, así como poder realizar el temple al aire, por lo que la no-deformación es total; tien buena resistencia al desgaste, a la dureza en caliente, tenacidad media y regular maquinabilidad. Los aceros de Cr, proporcionan muy buena resistencia al desgaste.

La antigua designación de UNE, corresponde al grupo F-52XX

Ejemplos de aceros aleados para herramientas de la antigua Norma UNE

| Designación UNE | | Composición química | | | | | | | | | | | Templabili- dad + diá- metro cri- tico en pulgadas | Resistencia a la tracción, Temple y Revenido. kg/mm ² |
|---|---------------|---------------------|-----------|-----------|---------------|---------------|--------|-------------|-----------|-----------|-----------|------|--|--|
| Númerica | Simbólica | C % | Mn % | Si % | P % máximo | S % máximo | Ni % | Cr % | Mo % | V % | W % | Co % | | |
| Aceros aleados para herramientas UNE 36 072-75 (1) | | | | | | | | | | | | | | |
| F-5 220 | 95 Mn W 5 | 0.90-1.05 | 1.05-1.35 | 0.10-0.40 | 0.030 | 0.030 | | 0.25-0.65 | | | | | | |
| F-5 230 | 100 Cr 6 | 0.95-1.10 | 0.25-0.45 | 0.15-0.35 | 0.030 | 0.030 | | 1.36-1.85 | | 0.05-0.25 | 0.40-0.70 | | | 60-64 HRC |
| F-5 241 | 45 W Cr Si 8 | 0.40-0.50 | 0.15-0.45 | 0.80-1.01 | 0.030 | 0.030 | | 0.90-1.20 | | 0.10-0.30 | 1.70-2.30 | | | 60-65 HRC |
| F-5 253 | 5 Cr Mo 16 | ≤ 0.07 | 0.10-0.30 | 0.10-0.30 | 0.030 | 0.030 | | 3.50-4.50 | 0.40-0.60 | | | | | |
| F-5 267 | X 38 Cr Mo 16 | 0.33-0.43 | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | 0.030 | 0.030 | ≤ 1.00 | 15.00-17.00 | 1.00-1.50 | | | | | |

APLICACIONES DE LOS ACEROS ALEADOS PARA HERRAMIENTAS PARA TRABAJOS EN FRÍO

-Fresas para filetear, matrices para cortar y dar forma, escariadores, utillajes para fabricar tubos, poleas, ejes, ruedas dentadas, etc., para instrumentos, laminas para cizallas, útiles para embutir, etc.

-Útiles para matricular y matrices para trabajar en frío, acuñar monedas y medallas, estampas para cajas de reloj, matrices para anillos, cubiertos, campanas, matrices en frío para el acabado de piezas de automóvil, grandes matrices para estirar, brocas, hileras, escariadores, etc.

-Cuchillas y láminas para maquinas de trabajar madera, punzones en caliente, buriles neumáticos para aceros moldeados, fundiciones grises y aceros duros, utillajes para trabajos de corte de madera, etc.

-Punzones para marcar, pequeñas cuchillas para trabajar en frío o en caliente, utiles para maquinas neumáticas para demoler, hormigón, pavimentos, carbón, etc.

-Toda clase de matrices para estampado en serie y en caliente del acero, hierro y metales no férreos, por ejemplo: estampados de piezas de aviación, automóviles y maquinaria; en aplicaciones ligeras émbolos, discos de turbina, bielas, carteres, etcera.



2.3.3. Aceros aleados para trabajos en caliente

En algunas aplicaciones como la forja en caliente y la extrusión o el moldeo de plásticos es necesario someter la herramienta a temperaturas elevadas para estos casos se utilizan este tipo de aceros.

Un acero se considera que trabaja en frío cuando en su uso la temperatura sea superior a 200°C.

Se utilizan elementos de aleación como el Cr, Mo y W para dar dureza en caliente y presentan bajo contenido en carbono para proporcionar una buena tenacidad, aunque su resistencia al desgaste no es demasiado buena. Los elementos de aleación permiten el temple en aire o aceite. Además presentan resistencia al desgaste y maquinabilidad.

La antigua designación de UNE, corresponde al grupo F-53XX

Según el elemento de aleación se pueden dividir en:

-Aceros en base cromo, con un mínimo de 3,25 por ciento y menores cantidades de vanadio, wolframio y molibdeno. Tienen buena dureza en caliente debido a su contenido en cromo, además de los formadores de carburos, como el V, W y Mo. Presentan bajo contenido en carbono y presentan una dureza entre 40 y 55 HRc

-Aceros con base wolframio, contienen al menos un 9 por ciento de wolframio y entre 2 y 12 por ciento de cromo. El mayor contenido de aleación aumenta la temperatura de ablandamiento, pero les hace más susceptibles a la fragilidad en las durezas normales de trabajo. Se temple al aire o en baño de sales calientes para minimizar la formación de escamas.

-Aceros con base molibdeno, con un 8 por ciento de Mo, 4 por ciento de Cr y menores cantidades de W y V. Son bastante similares a los aceros de wolframio pero su coste inicial es más bajo.

- Troqueles de extrusión, troqueles para piezas fundidas, para forja.
- Mandriles, Cizallas en caliente



2.4.4. Aceros rápidos

Presentan la característica especial de conservar su dureza y características mecánicas en general hasta una temperatura de 600° C, mientras que los aceros al carbono y los aceros aleados para herramientas tienen el inconveniente de que se ablandan y desafilan para temperaturas superiores a los 250° C. Este hecho permite velocidades de corte muy superiores a las que se obtienen con otros tipos de aceros para herramientas.

En la composición de los aceros rápidos contienen en proporción relativamente elevada tres elementos de aleación fundamentales: wolframio, cobalto y molibdeno, y dos elementos accesorios, cromo y vanadio.

El wolframio mejora la resistencia de la martensita en caliente y aumenta la resistencia al desgaste.

El molibdeno es de una acción similar al wolframio, pero más intensa, teniendo el mismo efecto una parte de molibdeno que dos de wolframio. Tiene el inconveniente de bajar el punto de fusión del acero y de aumentar su tendencia a la descarburación.

El cobalto mejora la resistencia en caliente del acero y eleva su temperatura de fusión. Aumenta también la tendencia a la descarburación del acero.

El cromo favorece la formación de carburos (lo que aumenta notablemente la dureza y la resistencia al desgaste), aumenta la templabilidad del acero y su resistencia a la oxidación a alta temperatura.

El vanadio aumenta la resistencia de la martensita y aumenta la resistencia al desgaste.

El carbono está en los aceros rápidos en proporciones del 0.65 al 1.20% con objeto de obtener en el temple gran dureza, y además, el carbono necesario para la formación de carburos, que, como ya se ha dicho, aumentan la resistencia al desgaste.

La antigua designación de UNE, corresponde al grupo F-55XX y F-56XX

Ejemplos de aceros rápidos de la antigua Norma UNE

| | Designación común | %C | %Mn | %Si | %P | %S |
|-------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| F-551 | Aceros rápidos 14% W | 0,65/0,75 | 0,20/0,40 | 0,20/0,40 | <0,03 | <0,03 |
| F-552 | Aceros rápidos 18% W | 0,70/0,80 | 0,20/0,40 | 0,20/0,40 | <0,03 | <0,03 |
| F-553 | Aceros extrarrápidos 5% Co | 0,75/0,80 | 0,20/0,40 | 0,20/0,40 | <0,03 | <0,03 |
| F-554 | Aceros extrarrápidos 10% Co | 0,80/0,85 | 0,20/0,40 | 0,20/0,40 | <0,03 | <0,03 |

| | Designación común | %Cr | %W | %V | %Mo | %Co |
|-------|-----------------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|---------|
| F-551 | Aceros rápidos 14% W | 3,75/4,25 | 13,00/15,00 | 1,00/1,25 | X | X |
| F-552 | Aceros rápidos 18% W | 4,00/4,50 | 17,00/19,00 | 1,00/1,25 | opcional | X |
| F-553 | Aceros extrarrápidos 5% Co | 4,00/4,50 | 17,00/19,00 | 1,00/1,25 | 0,8/1,00 | 4,0/6,0 |
| F-554 | Aceros extrarrápidos 10% Co | 4,00/4,50 | 17,00/19,00 | 1,00/1,25 | 0,80/1,00 | 9/11,00 |

3. CLASIFICACIÓN DE ACERO DE HERRAMIENTAS SEGUN AISI

3.1. Clasificación de acero de herramientas según la Norma AISI (norma americana)

Cualquier acero utilizado como herramienta puede clasificarse técnicamente como acero para herramientas; sin embargo, el término suele limitarse a aceros especiales de alta calidad utilizados para corte o formado.

Hay varios métodos para clasificar los aceros para herramientas. Uno es según los medios de templado que se usen, como aceros templados en agua, aceros templados en aceite y aceros templados en aire. El contenido de aleación es otro medio de clasificación, como aceros al carbono para herramientas, aceros de baja aleación para herramientas y aceros de mediana aleación para herramientas. Un último método de agrupación es el basado en el empleo del acero para herramientas, como aceros para trabajo en caliente, aceros resistentes al impacto, aceros de alta velocidad y aceros para trabajos en frío.

El método de identificación y tipo de clasificación de los aceros para herramientas adoptado por la AISI (American Iron and Steel Institute) tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. Los aceros para herramientas que más se utilizan se han agrupado en siete grupos y a cada grupo o sub grupo se le ha asignado una letra del alfabeto, como sigue:

-Aceros de temple al agua **W**

-Aceros para trabajos de choque **S**

-Aceros para trabajos en frío:

- Aceros de temple en aceite **O**
- Aceros de media aleación temple aire **A**
- Aceros altos en cromo y en carbono **D**

-Aceros para trabajos en caliente **H** Aceros del tipo **H**

-Aceros rápidos:

- Aceros al tungsteno **T**
- Aceros al molibdeno **M**

-Aceros para usos especiales:

- Aceros de baja aleación **L**
- Aceros al tungsteno **F**

- Aceros para moldes P

En los siguientes apartados se describen las propiedades de los distintos tipos de aceros de herramientas según la clasificación AISI, en los que se describen la composición, equivalencias con otras normas, las características de los tratamientos térmicos como las propiedades de los elementos que forman los distintos tipos de aceros de herramientas.

3.1.1. Aceros de herramientas de temple al agua (grupo W)

Este grupo está formado fundamentalmente por aceros ordinarios al carbono, aunque algunos de los aceros de mayor contenido llevan pequeñas cantidades de cromo y vanadio con el fin de aumentar la templabilidad y mejorar la resistencia al desgaste. El contenido en carbono de este tipo de aceros varía de 0,6 a 1,4%, pudiendo subdividirse de una manera general en función del porcentaje de carbono, en los subgrupos siguientes. 0,6 a 0,75% de carbono estos aceros se utilizan en los casos en que principalmente interesa la tenacidad, como en los martillos, buterolas, martillos neumáticos, y troqueles encabezadores de carrera corta.

0,75 a 0,95% de carbono estos aceros se utilizan cuando además de tenacidad se necesita dureza como en los punzones, cinceles, matrices y cuchillas de cizalla.

0,95 a 1,4% de carbono estos aceros se emplean en los casos en que se exige a las herramientas gran resistencia al desgaste y conservación de las condiciones de corte. Se utilizan en la fabricación de herramientas para madera, brocas, escariadores, terrajas y herramientas de torno.

Sometiéndoles al tratamiento térmico adecuado, se logra obtener una estructura martensítica dura en la superficie en núcleo tenaz. Para que alcancen las cifras de dureza que se les exigen, tienen que templarse en agua, son los que mejor maquinabilidad tienen y los que mejor resistencia a la decarburación, aunque su resistencia en caliente es pequeña.

GRUPO W

Composición grupo W

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Water-hardening tool steels | | | | | | | | | | |
| W1 | T72301 | 0.70–1.50(e) | 0.10–0.40 | 0.10–0.40 | 0.15 max | 0.20 max | 0.10 max | 0.15 max | 0.10 max | ... |
| W2 | T72302 | 0.85–1.50(e) | 0.10–0.40 | 0.10–0.40 | 0.15 max | 0.20 max | 0.10 max | 0.15 max | 0.15–0.35 | ... |
| W5 | T72305 | 1.05–1.15 | 0.10–0.40 | 0.10–0.40 | 0.40–0.60 | 0.20 max | 0.10 max | 0.15 max | 0.10 max | ... |

Como se puede comprobar el porcentaje de carbono esta comprendido entre 0,6 y 1,4 % aproximadamente. Y que poseen pequeñas cantidades de Vanadio y Cromo.

Equivalencias con otras normas grupo W

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|--|--|---|---|---------------------------------------|
| Water-hardening steels (ASTM A 686) | | | | | |
| W1 | 1.1525, 1.1545, 1.1625, 1.1654, 1.1663, 1.1673, 1.1744, 1.1750, 1.1820, 1.1830 | G4401 SK1 ĀG4401 SK2 ĀG4401 SK3 ĀG4401 SK4 ĀG4401 SK5 ĀG4401 SK6 ĀG4401 SK7 ĀG4410 SKC3 | 4659 (USA W1) Ā4659 BW1A Ā4659 BW1B Ā4659 BW1C | A35-590 1102 Y(1) 105 ĀA35-590 1103 Y(1) 90 ĀA35-590 1104 Y(1) 80 ĀA35-590 1105 Y(1) 70 ĀA35-590 1200 Y(2) 140 ĀA35-590 1201 Y(2) 120 ĀA35-5906 Y75 ĀA35-596 Y90 | --- |
| W2 | 1.1645, 1.2206, 1.2833 | G4404 SKS43 ĀG4404 SKS44 | 4659 BW2 | A35-590 1161 Y120V ĀA35-590 1162 Y105V ĀA35-590 1163 Y90V ĀA35-590 1164 Y75V ĀA35-590 1230 Y(2) 140C ĀA35-590 2130 Y100C2 | (USA W2A) Ā(USA W2B) Ā(USA W2C) |
| W5 | 1.2002, 1.2004, 1.2056 | --- | --- | A35-590 1232 Y105C | --- |

Tratamientos térmicos Típico del grupo W

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo W

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|------|--------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Water-hardening steels | | | | | | | |
| W1, W2 | 790–925(d) | 1450–1700(d) | 740–790(e) | 1360–1450(e) | 22 | 40 | 156–201 |
| W5 | 870–925 | 1600–1700 | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 163–201 |

Endurecimiento y atenuación del grupo W

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|------------------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Water-hardening steels | | | | | | | | | |
| W1, W2, W3 | Slowly | 565–650(k) | 1050–1200(k) | 760–845 | 1400–1550 | 10–30 | B or W | 175–345 | 350–650 |

Tratamiento y características del grupo W

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Water-hardening steels | | | | | | | | | |
| W1 | Highest | Shallow | High | Medium | 50–64 | Highest | High(e) | Low | Low to medium |
| W2 | Highest | Shallow | High | Medium | 50–64 | Highest | High(e) | Low | Low to medium |
| W5 | Highest | Shallow | High | Medium | 50–64 | Highest | High(e) | Low | Low to medium |

Se puede comprobar en las tablas que poseen una gran maquinabilidad y dureza

Propiedades del grupo W

Densidad y expansión térmica del grupo W

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|---|--------|--------|---------|---------|---|--------|--------|---------|---------|
| | | | $\mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{K}$ from 20 °C to | | | | | $\mu\text{in.}/\text{in.} \cdot ^\circ\text{F}$ from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | 1200 °F |
| W1 | 7.84 | 0.282 | 10.4 | 11.0 | 13.1 | 13.8(a) | 14.2(b) | 5.76 | 6.13 | 7.28 | 7.64(a) | 7.90(b) |
| W2 | 7.85 | 0.283 | ... | ... | 14.4 | 14.8 | 14.9 | ... | ... | 8.0 | 8.2 | 8.3 |

Conductividad térmica del grupo W

| Temperature | | Thermal conductivity | |
|-------------|------|----------------------|-----------------|
| °C | °F | W/m · K | Btu/ft · h · °F |
| Type W1 | | | |
| 95 | 200 | 48.3 | 27.9 |
| 260 | 500 | 41.5 | 24.0 |
| 400 | 750 | 38.1 | 22.0 |
| 540 | 1000 | 34.6 | 20.0 |
| 675 | 1250 | 29.4 | 17.0 |
| 815 | 1500 | 24.2 | 14.0 |

Propiedades generales del grupo W

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Water-hardening tool steels | | | | | | | | |
| W1 | 2–4 | 3–7 | 1 | 58–65 | S | 9 | 65–67 | 38–43 |
| W2 | 2–4 | 3–7 | 1 | 58–65 | S | 9 | 65–67 | 38–43 |
| W5 | 3–4 | 3–7 | 1 | 58–65 | S | 9 | 65–67 | 38–43 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

3.1.2. Aceros de herramienta para trabajos de choque (grupo S)

Estos aceros son generalmente bajos en carbono, con porcentajes comprendidos entre 0,45 y 0,65%, siendo los principales elementos de aleación utilizados el silicio, el cromo, el tungsteno y algunas veces el molibdeno o el níquel.

EL silicio y el níquel aumentan la resistencia de la ferrita, mientras que el cromo aumenta la templabilidad y contribuye al aumento de templabilidad, mientras que el tungsteno confiere dureza en caliente. La mayor parte de ellos son de temple en aceite, aunque algunos tienen que templarse en agua para lograr un temple total.

Los contenidos en silicio elevados tienden a acelerar la descarburación. Los aceros pertenecientes a este grupo se emplean en la fabricación de matrices de estampar, punzones, cinces, herramientas neumáticos y cuchillas de cizallas.

Composición grupo S

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------|-----|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Shock-resisting steels | | | | | | | | | | |
| S1 | T41901 | 0.40–0.55 | 0.10–0.40 | 0.15–1.20 | 1.00–1.80 | 0.30 max | 0.50 max | 1.50–3.00 | 0.15–0.30 | ... |
| S2 | T41902 | 0.40–0.55 | 0.30–0.50 | 0.90–1.20 | ... | 0.30 max | 0.30–0.60 | ... | 0.50 max | ... |
| S5 | T41905 | 0.50–0.65 | 0.60–1.00 | 1.75–2.25 | 0.50 max | ... | 0.20–1.35 | ... | 0.35 max | ... |
| S6 | T41906 | 0.40–0.50 | 1.20–1.50 | 2.00–2.50 | 1.20–1.50 | ... | 0.30–0.50 | ... | 0.20–0.40 | ... |
| S7 | T41907 | 0.45–0.55 | 0.20–0.90 | 0.20–1.00 | 3.00–3.50 | ... | 1.30–1.80 | ... | 0.20–0.30(d) | ... |

Como se puede comprobar el porcentaje de carbono esta comprendido entre 0,45 y 0,65 % aproximadamente. Y el uso del silicio, el cromo y el tungsteno.

Equivalencias con otras normas grupo S

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| Shock-resisting steels (ASTM A 681) | | | | | |
| S1 | 1.2542, 1.2550 | G4404 SKS41 | 4659 BS1 | A35–590 2341 55WC20 | 2710 |
| S2 | 1.2103 | ... | 4659 BS2 | A35–590 2324 Y45SCD6 | ... |
| S5 | 1.2823 | ... | 4659 BS5 | ... | ... |
| S6 | ... | ... | ... | ... | ... |
| S7 | ... | ... | ... | ... | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo S

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo S

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|------------------------|------------------|----|--------------|-----------|--------------------------|------|--------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Shock-resisting steels | | | | | | | |
| S1 | Do not normalize | | 790–815 | 1450–1500 | 22 | 40 | 183–229(c) |
| S2 | Do not normalize | | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 192–217 |
| S5 | Do not normalize | | 775–800 | 1425–1475 | 14 | 25 | 192–229 |
| S7 | Do not normalize | | 815–845 | 1500–1550 | 14 | 25 | 187–223 |

Endurecimiento y atenuación del grupo S

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|------------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------------|-----------|--------------------------|--------|---------------------|-----------------------|--|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | | | |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | | |
| Shock-resisting steels | | | | | | | | | | |
| S1 | Slowly | ... | ... | 900–955 | 1650–1750 | 15–45 | O | 205–650 | 400–1200 | |
| S2 | Slowly | 650(f) | 1200(f) | 845–900 | 1550–1650 | 5–20 | B or W | 175–425 | 350–800 | |
| S5 | Slowly | 760 | 1400 | 870–925 | 1600–1700 | 5–20 | O | 175–425 | 350–800 | |
| S7 | Slowly | 650–705 | 1200–1300 | 925–955 | 1700–1750 | 15–45 | A or O | 205–260 | 400–1150 | |

Tratamiento y características del grupo S

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Shock-resisting steels | | | | | | | | | |
| S1 | Medium | Medium | Medium | High | 40–58 | Medium | Very high | Medium | Low to medium |
| S2 | Low | Medium | High | Low | 50–60 | Medium to high | Highest | Low | Low to medium |
| S5 | Low | Medium | Medium | High | 50–60 | Medium to high | Highest | Low | Low to medium |
| S6 | Low | Medium | Medium | High | 54–56 | Medium | Very high | Low | Low to medium |
| S7 | Medium | Deep | A, lowest; O, low | O, high; A, highest | 45–57 | Medium | Very high | High | Low to Medium |

Propiedades del grupo S

Densidad y expansión térmica del grupo S

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|--------|--------|---------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------|-----|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| S1 | 7.88 | 0.255 | 12.4 | 12.6 | 13.5 | 13.9 | 14.2 | 6.9 | 7.0 | 7.5 | 7.7 | 7.9 |
| S2 | 7.79 | 0.281 | 10.9 | 11.9 | 13.5 | 14.0 | 14.2 | 6.0 | 6.6 | 7.5 | 7.8 | 7.9 |
| S5 | 7.76 | 0.280 | ... | ... | 12.6 | 13.3 | 13.7 | ... | ... | 7.0 | 7.4 | 7.6 |
| S6 | 7.75 | 0.279 | ... | ... | 12.6 | 13.3 | ... | ... | ... | 7.0 | 7.4 | ... |
| S7 | 7.76 | 0.280 | ... | 12.6 | 13.3 | 13.7(a) | 13.3 | ... | 7.0 | 7.4 | 7.6(a) | 7.4 |

Propiedades generales del grupo S

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance (b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Shock-resisting steels | | | | | | | | |
| S1 | 4 | 8 | 5 | 50–58 | M | 8 | 55–58 | 55–58 |
| S2 | 2 | 8 | 2 | 50–60 | M | 8 | 61–63 | 56–60 |
| S5 | 2 | 8 | 3 | 50–60 | M | 9 | 61–63 | 58–62 |
| S6 | 2 | 8 | 3 | 50–56 | M | 8 | 56–58 | 56–58 |
| S7 | 3 | 8 | 5 | 47–57 | D | 8 | 59–61 | 59–61 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

3.1.3. Aceros para trabajos en caliente (grupo H)

Los aceros para trabajo en caliente son aquellos diseñados para trabajar en condiciones de temperatura elevada, considerando como tales aquellas que superan los 316°C. En tales condiciones estos aceros necesitan una composición adaptada a sus necesidades: son aceros con un contenido en Carbono relativamente bajo para maximizar su tenacidad, y con adiciones de elementos aleantes que mejoren sus propiedades. Los aceros de herramientas para trabajo en caliente se pueden dividir principalmente en tres familias, según el elemento de aleación presenten en mayor medida:

Aceros de base Cromo (H10-H19):

Estos aceros se caracterizan por una elevada templabilidad, por lo que presentan distorsiones relativamente bajas durante el proceso de temple al aire. Presentan contenidos en C y en elementos de aleación lo suficientemente bajos para que sea posible enfriarlos en agua fría durante su servicio, sin que se produzca fractura. Presentan además una buena resistencia al ablandamiento en caliente gracias a sus contenidos medios en Cr, así como a la adición de pequeñas cantidades de elementos formadores de carburos como Mo, W y V. Aumentando el contenido en W y Mo se incrementa la resistencia en caliente, pero en detrimento de la tenacidad. La función del V es la de aumentar la resistencia al desgaste erosivo a altas temperaturas. Se añade Si para mejorar la resistencia a la oxidación a temperaturas superiores a 800°C.

Sus contenidos en C y en elementos de aleación son bajos, lo que favorece la tenacidad para durezas de trabajo entre 40 y 55HRC (400-600HV aproximadamente).

Los más usados dentro de este grupo son H11, H12 y H13; y en menor medida H19.

Sus principales aplicaciones están en la fabricación de matrices de extrusión, moldes de fundición inyectada, útiles de corte en caliente...

Aceros de base Wolframio (Tungsteno) (H21-H26):

Los principales elementos de aleación de este grupo son C, W, C y V. Sus contenidos en estos elementos son superiores al grupo anterior, lo que hace que sean más resistentes al ablandamiento a altas temperaturas y también al desgaste erosivo. Sin embargo, esto también los hace más propensos a la fragilización a las durezas normales de trabajo (45 a 55HRC) y dificulta una refrigeración adecuada con agua durante su servicio.

Este tipo de aceros requiere temperaturas de austenización mayores que en el caso de los aceros al Cromo, por lo que son más susceptibles al descascarillado durante su calentamiento en una atmósfera oxidante. Pueden ser templados al aire con una baja distorsión; aunque lo más habitual es que se empleen aceites o baños de sales para minimizar la formación de dicha cascarilla. Salvo por su elevada tenacidad, en el resto de características estos aceros son muy similares a los aceros rápidos al W.

Se emplean en mandriles y matrices de extrusión a alta temperatura, en moldes de extrusión de latón y níquel; y también en matrices de forja en caliente.

Aceros basados en el Molibdeno (H41-H43):

Existen solo dos tipos activos de este grupo: H42 y H43. Su composición se asemeja a la de los aceros rápidos al Mo pero sus contenidos en C son más bajos. Presentan, por lo general, unos valores muy elevados de tenacidad, y una excelente resistencia al choque térmico y al ablandamiento a alta temperatura. No obstante, su ductilidad es bastante baja.

Sus propiedades los hacen muy adecuados para templar en agua. Presentan características y usos casi idénticos a los aceros del grupo anterior.

Las principales diferencias del H42 y H43 respecto a aquellos son:

- Mucho menor coste inicial.
- Mayor resistencia a la fatiga térmica.
- Requiere un especial cuidado en el tratamiento térmico, respecto a la descarburación y control de la temperatura de austenización.

Los aceros al Cr-Mo-V nacieron destinados a la fabricación de moldes de fundición a presión de aluminio, pero más tarde su uso se hizo extensivo a otros procesos de trabajo en caliente, y con diferentes materiales de trabajo. Los aceros más empleados para trabajo en caliente son el AISI H11 y el H13.

Composición grupo H

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Chromium hot-work steels | | | | | | | | | | |
| H10 | T20810 | 0.35–0.45 | 0.25–0.70 | 0.80–1.20 | 3.00–3.75 | 0.30 max | 2.00–3.00 | ... | 0.25–0.75 | ... |
| H11 | T20811 | 0.33–0.43 | 0.20–0.50 | 0.80–1.20 | 4.75–5.50 | 0.30 max | 1.10–1.60 | ... | 0.30–0.60 | ... |
| H12 | T20812 | 0.30–0.40 | 0.20–0.50 | 0.80–1.20 | 4.75–5.50 | 0.30 max | 1.25–1.75 | 1.00–1.70 | 0.50 max | ... |
| H13 | T20813 | 0.32–0.45 | 0.20–0.50 | 0.80–1.20 | 4.75–5.50 | 0.30 max | 1.10–1.75 | ... | 0.80–1.20 | ... |
| H14 | T20814 | 0.35–0.45 | 0.20–0.50 | 0.80–1.20 | 4.75–5.50 | 0.30 max | ... | 4.00–5.25 | ... | ... |
| H19 | T20819 | 0.32–0.45 | 0.20–0.50 | 0.20–0.50 | 4.00–4.75 | 0.30 max | 0.30–0.55 | 3.75–4.50 | 1.75–2.20 | 4.00–4.50 |
| Tungsten hot-work steels | | | | | | | | | | |
| H21 | T20821 | 0.26–0.36 | 0.15–0.40 | 0.15–0.50 | 3.00–3.75 | 0.30 max | ... | 8.50–10.00 | 0.30–0.60 | ... |
| H22 | T20822 | 0.30–0.40 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 1.75–3.75 | 0.30 max | ... | 10.00–11.75 | 0.25–0.50 | ... |
| H23 | T20823 | 0.25–0.35 | 0.15–0.40 | 0.15–0.60 | 11.00–12.75 | 0.30 max | ... | 11.00–12.75 | 0.75–1.25 | ... |
| H24 | T20824 | 0.42–0.53 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 2.50–3.50 | 0.30 max | ... | 14.00–16.00 | 0.40–0.60 | ... |
| H25 | T20825 | 0.22–0.32 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | ... | 14.00–16.00 | 0.40–0.60 | ... |
| H26 | T20826 | 0.45–0.55(b) | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | ... | 17.25–19.00 | 0.75–1.25 | ... |
| Molybdenum hot-work steels | | | | | | | | | | |
| H42 | T20842 | 0.55–0.70(b) | 0.15–0.40 | ... | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.50–5.50 | 5.50–6.75 | 1.75–2.20 | ... |

Como se puede comprobar el porcentaje de carbono esta comprendido entre 0,20 y 0,70 % aproximadamente, un porcentaje bastante bajo.

Equivalencias con otras normas grupo H

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Chromium hot-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| H10 | 1.2365, 1.2367 | G4404 SKD7 | 4659 BH10 | A35–590 3451 32DCV28 | ... |
| H11 | 1.2343, 1.7783, 1.7784 | G4404 SKD6 | 4659 BH11 | A35–590 3431 FZ38CDV5 | ... |
| H12 | 1.2606 | G4404 SKD62 | 4659 BH12 | A35–590 3432 Z35CWDV5 | ... |
| H13 | 1.2344 | G4404 SKD61 | 4659 BH13 Å4659 H13 | A35–590 3433 Z40CDV5 | 2242 |
| H14 | 1.2567 | G4404 SKD4 | ... | 3541 Z40WCV5 | ... |
| H19 | 1.2678 | G4404 SKD8 | 4659 BH19 | ... | ... |
| Tungsten hot-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| H21 | 1.2581 | G4404 SKD5 | 4659 BH21 Å4659 H21A | A35–590 3543 Z30WCV9 | 2730 |
| H22 | 1.2581 | G4404 SKD5 | ... | ... | ... |
| H23 | 1.2625 | ... | ... | ... | ... |
| H24 | ... | ... | ... | ... | ... |
| H25 | ... | ... | ... | ... | ... |
| H26 | ... | ... | 4659 BH26 | ... | ... |
| Molybdenum hot-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| H42 | ... | ... | ... | 3548 Z65WDCV6.05 | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo H

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo H

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|-----------------------------|------------------|----|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Chromium hot-work steels | | | | | | | |
| H10, H11, H12, H13 | Do not normalize | | 845–900 | 1550–1650 | 22 | 40 | 192–229 |
| H14 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 207–235 |
| H19 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 207–241 |
| Tungsten hot-work steels | | | | | | | |
| H21, H22, H25 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 207–235 |
| H23 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 212–255 |
| H24, H26 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 217–241 |
| Molybdenum hot-works steels | | | | | | | |
| H41, H43 | Do not normalize | | 815–870 | 1500–1600 | 22 | 40 | 207–235 |
| H42 | Do not normalize | | 845–900 | 1550–1650 | 22 | 40 | 207–235 |

Endurecimiento y atenuación del grupo H

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenchi ng medium(a) | Tempering temperature | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------|------|-----------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------|--|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temper ature, min | | °C | °F | |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | | |
| Chromium hot-work steels | | | | | | | | | | |
| H10 | Moderately from preheat | 815 | 1500 | 1010–1040 | 1850–1900 | 15–40(e) | A | 540–650 | 1000–1200 | |
| H11, H12 | Moderately from preheat | 815 | 1500 | 995–1025 | 1825–1875 | 15–40(e) | A | 540–650 | 1000–1200 | |
| H13 | Moderately from preheat | 815 | 1500 | 995–1040 | 1825–1900 | 15–40(e) | A | 540–650 | 1000–1200 | |
| H14 | Moderately from preheat | 815 | 1500 | 1010–1065 | 1850–1950 | 15–40(e) | A | 540–650 | 1000–1200 | |
| H19 | Moderately from preheat | 815 | 1500 | 1095–1205 | 2000–2200 | 2–5 | A or O | 540–705 | 1000–1300 | |
| Tungsten hot-work steels | | | | | | | | | | |
| H21, H22 | Rapidly from preheat | 815 | 1500 | 1095–1205 | 2000–2200 | 2–5 | A or O | 595–675 | 1100–1250 | |
| H23 | Rapidly from preheat | 845 | 1550 | 1205–1260 | 2200–2300 | 2–5 | O | 650–815 | 1200–1500 | |
| H24 | Rapidly from preheat | 815 | 1500 | 1095–1230 | 2000–2250 | 2–5 | O | 565–650 | 1050–1200 | |

Tratamiento y características del grupo H

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Chromium hot-work steels | | | | | | | | | |
| H10 | Medium | Deep | Very low | Highest | 39–56 | Medium to high | High | High | Medium |
| H11 | Medium | Deep | Very low | Highest | 38–54 | Medium to high | Very high | High | Medium |
| H12 | Medium | Deep | Very low | Highest | 38–55 | Medium to high | Very high | High | Medium |
| H13 | Medium | Deep | Very low | Highest | 38–53 | Medium to high | Very high | High | Medium |
| H14 | Medium | Deep | Low | Highest | 40–47 | Medium | High | High | Medium |
| H19 | Medium | Deep | A, low; O, medium | High | 40–57 | Medium | High | High | Medium to high |
| Tungsten hot-work steels | | | | | | | | | |
| H21 | Medium | Deep | A, low; O, medium | High | 36–54 | Medium | High | High | Medium to high |
| H22 | Medium | Deep | A, low; O, medium | High | 39–52 | Medium | High | High | Medium to high |
| H23 | Medium | Deep | Medium | High | 34–47 | Medium | Medium | Very high | Medium to high |
| H24 | Medium | Deep | A, low; O, medium | High | 45–55 | Medium | Medium | Very high | High |
| H25 | Medium | Deep | A, low; O, medium | High | 35–44 | Medium | High | Very high | Medium |
| H26 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | High | 43–58 | Medium | Medium | Very high | High |
| Molybdenum hot-work steels | | | | | | | | | |
| H42 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 50–60 | Medium | Medium | Very high | High |

Propiedades del grupo H

Densidad y expansión térmica del grupo H

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|-----|---------|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | | 1000 °F |
| H10 | 7.81 | 0.281 | ... | ... | 12.2 | 13.3 | 13.7 | ... | ... | 6.8 | 7.4 | 7.6 |
| H11 | 7.75 | 0.280 | 11.9 | 12.4 | 12.8 | 12.9 | 13.3 | 6.6 | 6.9 | 7.1 | 7.2 | 7.4 |
| H13 | 7.76 | 0.280 | 10.4 | 11.5 | 12.2 | 12.4 | 13.1 | 5.8 | 6.4 | 6.8 | 6.9 | 7.3 |
| H14 | 7.89 | 0.285 | 11.0 | ... | ... | ... | ... | 6.1 | ... | ... | ... | ... |
| h19 | 7.98 | 0.288 | 11.0 | 11.0 | 12.0 | 12.4 | 12.9 | 6.1 | 6.1 | 6.7 | 6.9 | 7.2 |
| H21 | 8.28 | 0.299 | 12.4 | 12.6 | 12.9 | 13.5 | 13.9 | 6.9 | 7.0 | 7.2 | 7.5 | 7.7 |
| H22 | 8.36 | 0.302 | 11.0 | ... | 11.5 | 12.0 | 12.4 | 6.1 | ... | 6.4 | 6.7 | 6.9 |
| H26 | 8.67 | 0.313 | ... | ... | ... | 12.4 | ... | ... | ... | ... | 6.9 | ... |
| H42 | 8.15 | 0.295 | ... | ... | ... | 11.9 | ... | ... | ... | ... | 6.6 | ... |

Conductividad térmica del grupo H

| Temperature | | Thermal conductivity | |
|-----------------|------|----------------------|-----------------|
| °C | °F | W/m · K | Btu/ft · h · °F |
| Type H11 | | | |
| 95 | 200 | 42.2 | 24.4 |
| 260 | 500 | 36.3 | 21.0 |
| 400 | 750 | 33.4 | 19.3 |
| 540 | 1000 | 31.5 | 18.2 |
| 675 | 1250 | 30.1 | 17.4 |
| 815 | 1500 | 28.6 | 16.5 |
| Type H13 | | | |
| 215 | 420 | 28.6 | 16.5 |
| 350 | 660 | 28.4 | 16.4 |
| 475 | 890 | 28.4 | 16.4 |
| 605 | 1120 | 28.7 | 16.6 |
| Type H21 | | | |
| 95 | 200 | 27.0 | 15.6 |
| 260 | 500 | 29.8 | 17.2 |
| 400 | 750 | 29.8 | 17.2 |
| 540 | 1000 | 29.4 | 17.0 |
| 675 | 1250 | 29.1 | 16.8 |

Propiedades generales del grupo H

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Chromium hot-work steels | | | | | | | | |
| H10 | 3 | 9 | 6 | 39–56 | D | 8 | 52–59 | 52–59 |
| H11 | 3 | 9 | 6 | 38–55 | D | 8 | 53–55 | 53–55 |
| H12 | 3 | 9 | 6 | 38–55 | D | 8 | 53–55 | 53–55 |
| H13 | 3 | 9 | 6 | 40–53 | D | 8 | 51–54 | 51–54 |
| H14 | 4 | 6 | 7 | 40–54 | D | 8 | 53–57 | 53–56 |
| H19 | 5 | 6 | 7 | 40–55 | D | 8 ^{1/2} | 48–57 | 48–57 |
| Tungsten hot-work steels | | | | | | | | |
| H21 | 4 | 6 | 8 | 40–55 | D | 9 | 45–63 | 45–63 |
| H22 | 5 | 5 | 8 | 36–54 | D | 9 | 48–56 | 48–56 |
| H23 | 5 | 5 | 8 | 38–48 | D | 7 | 34–40 | 34–40 |
| H24 | 5 | 5 | 8 | 40–55 | D | 9 | 52–56 | 52–56 |
| H25 | 4 | 6 | 8 | 35–45 | D | 9 | 33–46 | 33–46 |
| H26 | 6 | 4 | 8 | 50–58 | D | 9 | 51–59 | 51–59 |
| Molybdenum hot-work steels | | | | | | | | |
| H24 | 6 | 4 | 7 | 45–62 | D | 8 ^{1/2} | 54–62 | 54–62 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

3.1.4. Aceros para trabajos en frío (grupo O, A y D)

Los aceros para trabajo en frío se usan para el conformado de materiales cuya temperatura de trabajo en superficie es inferior a los 200°C y se caracterizan por una acusada pérdida de resistencia cuando trabajan a temperaturas por encima de los 300°C. Son aceros de muy baja templabilidad, aunque bajo tratamiento térmico pueden adquirir una dureza superficial superior a los 60HRC en profundidades de 3 a 4 mm. En estos casos, su núcleo permanece más blando y tenaz, con una dureza de entre 40 y 45HRC. Pueden resistir el desgaste superficial y los choques a los que ocasionalmente están sometidas las herramientas en su vida en servicio, aunque hay muchas otras situaciones en las que no son aptos, ya que presentan las siguientes deficiencias:

- Falta de dureza en caliente (baja resistencia al revenido en caliente).
- Grandes deformaciones y alta propensión a las grietas con temple en agua, sobre todo en piezas de geometría complicada.
- La dureza de temple es insuficiente en herramientas de grandes dimensiones.
- Es obligatorio templarlos con agua, causa principal de su casi nula aplicación actual en la fabricación de útiles y herramientas.

Dentro de los aceros de herramientas para trabajo en frío se distinguen tres grupos principales, en función del contenido de aleantes:

Aceros de baja aleación, temple en aire (grupo O)

Estos aceros destacan por su gran indeformabilidad y porque en el tratamiento térmico es menos probable que se doblen, alaben, retuerzan, deformen o agrieten e los de temple en agua. Entre sus características principales podemos señalar su buena resistencia al desgaste, maquinabilidad y resistencia a la descarburación; la tenacidad es solo regular y su dureza en caliente tan baja como la de los aceros de herramientas al carbono.

Son aceros con un contenido en Carbono entre 0,4 y 0,7%, resistentes al choque, es decir, tenaces pero con baja resistencia al desgaste. Su composición química está comprendida entre los siguientes límites:

| %C | %Cr | %V | %W |
|-----------|-------|----------|-----------|
| 0,80-1,00 | >0,40 | 0,05-0,1 | 0,50-1,00 |

Los aceros de baja aleación de temple en aceite contienen manganeso y cantidades menores de cromo y tungsteno.

Estos aceros se utilizan en la fabricación de terrajas, rodillos de laminar roscas, herramientas de forma y escariadores expansivos y se emplean en la fabricación de matrices, estampas y otros útiles que procesan metales de distintos formatos, cuyos espesores no sobrepasen los 8mm.

Aceros de media aleación, aceros de temple en aire (grupo A)

Son aceros con un contenido en carbono comprendido entre 0,40 y 1,0% y que después del temple alcanzan durezas próximas a 54HRC. Su estructura está formada por martensita y carburos no disueltos cuya dureza es superior a la de la martensita, pudiendo alcanzar los 68HRC. Su composición química está comprendida entre los siguientes límites:

Los aceros de este grupo se destacan por su excelente indeformabilidad, presentando una resistencia al desgaste buena, tenacidad, y una maquinabilidad que va de regular a mala.

| %C | %Cr | %Mo | %V |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,90-1,05 | 4,80-5,50 | 0,90-1,20 | 0,10-0,30 |

El aumento del contenido en elementos aleados, particularmente de manganeso y molibdeno, confiere a estos aceros unas propiedades características del temple al aire muy acusadas, y aumentan la templabilidad.

Se emplean para la fabricación de útiles y herramientas que necesitan una elevada tenacidad, sacrificando su dureza y resistencia al desgaste. Así se utilizan, por ejemplo, en la fabricación de matrices, estampas y demás herramientas y útiles que procesan materiales metálicos de distintos formatos con espesores entre 3 y 8mm. Además se emplean en aquellos casos en que por razones económicas las herramientas no se puedan fabricar con aceros de alta aleación.

Aceros de alta aleación, de alto carbono y alto cromo (grupo D)

Este grupo está formado por aceros de alta aleación y altos contenidos en Carbono como son:

- Aceros al Cromo (12% Cr).
- Aceros rápidos con contenidos en Carbono entre 0,85% y 1,3%.

Son aceros que una vez templados y revenidos pueden llegar a alcanzar durezas de 65HRC, además de conseguir una muy buena resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión y una moderadamente baja tenacidad. Se caracterizan también por su buena resistencia a la abrasión y mínima variación de dimensiones en el temple. Su composición química está comprendida entre los siguientes límites:

| %C | %Cr | %Mo | %V |
|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1,50-2,20 | 11,00-2,50 | 0,60-12,5 | 0,90-1,10 |

La combinación del carbono y cromo en cantidades elevadas proporciona una excelente resistencia al desgaste e indeformabilidad.

Se emplean como alternativa a los aceros de baja aleación cuando se fabrican grandes series de piezas y/o cuando se requieren herramientas con alta resistencia al desgaste combinada con una tenacidad moderadamente baja.

| ALEACIONES MÁS COMUNES DE ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------|---------------------|------|------|-------|------|------|-----------------------|---|
| | NORMA | | COMPOSICIÓN QUÍMICA | | | | | | PROPIEDADES MECÁNICAS | APLICACIONES |
| | AISI | EN/UNE | C | Mn | Si | Cr | Mo | V | DUREZA(HRC) | |
| ACEROS DE BAJA ALEACIÓN | O1 | 90MnCrW5 | 0,95 | 1,10 | 0,25 | 0,50 | 0,10 | 0,60 | 58-60 | Estampas, punzones y matrices sometidas a choques |
| | O2 | 90MnCrV8 | 0,90 | 2,00 | 0,25 | 0,40 | 0,10 | - | 60-62 | Herramientas de corte como machos de roscar |
| ACEROS DE MEDIA ALEACIÓN | A2 | X100CrMoV5 | 1,00 | 0,60 | 0,25 | 5,30 | 1,10 | 0,20 | 60-62 | Herramientas de geometría compleja y que soportan grandes choques, como troqueles cortantes y matrices de acuñar. |
| ACEROS DE ALTA ALEACIÓN | D2 | X150CrMoV12 | 1,60 | 0,30 | 0,30 | 12,00 | 0,80 | - | 60-61 | Herramientas de corte y conformado que combinan elevada resistencia al desgaste con moderada tenacidad. |
| | D3 | X210Cr12 | 2,05 | 0,30 | 0,30 | 12,00 | - | - | 62-64 | Herramientas de corte y conformado con una muy elevada resistencia al desgaste, como moldes para plásticos abrasivos y cerámicas. |

GRUPO A

Composición grupo A

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Air-hardening, medium-alloy, cold-work steels | | | | | | | | | | |
| A2 | T30102 | 0.95–1.05 | 1.00 max | 0.50 max | 4.75–5.50 | 0.30 max | 0.90–1.40 | ... | 0.15–0.50 | ... |
| A3 | T30103 | 1.20–1.30 | 0.40–0.60 | 0.50 max | 4.75–5.50 | 0.30 max | 0.90–1.40 | ... | 0.80–1.40 | ... |
| A4 | T30104 | 0.95–1.05 | 1.80–2.20 | 0.50 max | 0.90–2.20 | 0.30 max | 0.90–1.40 | ... | ... | ... |
| A6 | T30106 | 0.65–0.75 | 1.80–2.50 | 0.50 max | 0.90–1.20 | 0.30 max | 0.90–1.40 | ... | ... | ... |
| A7 | T30107 | 2.00–2.85 | 0.80 max | 0.50 max | 5.00–5.75 | 0.30 max | 0.90–1.40 | 0.50–1.50 | 3.90–5.15 | ... |
| A8 | T30108 | 0.50–0.60 | 0.50 max | 0.75–1.10 | 4.75–5.50 | 0.30 max | 1.15–1.65 | 1.00–1.50 | ... | ... |
| A9 | T30109 | 0.45–0.55 | 0.50 max | 0.95–1.15 | 4.75–5.50 | 1.25–1.75 | 1.30–1.80 | ... | 0.80–1.40 | ... |
| A10 | T30110 | 1.25–1.50(c) | 1.60–2.10 | 1.00–1.50 | ... | 1.55–2.05 | 1.25–1.75 | ... | ... | ... |

Equivalencias con otras normas grupo A

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|---|-----------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Air-hardening, medium-alloy, cold-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| A2 | 1.2363 | G4404 SKD12 | 4659 BA2 | A35–590 2231 Z100CDV5 | 2260 |
| A3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| A4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| A5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| A6 | ... | ... | 4659 BA6 | ... | ... |
| A7 | ... | ... | ... | ... | ... |
| A8 | 1.2606 | G4404 SKD62 | ... | 3432 Z38CDWV5 | ... |
| A9 | ... | ... | ... | ... | ... |
| A10 | ... | ... | ... | ... | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo A

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo A

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|---|------------------|------|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Medium-alloy, air-hardening, cold-work steels | | | | | | | |
| A2 | Do not normalize | | 845–870 | 1550–1600 | 22 | 40 | 201–229 |
| A3 | Do not normalize | | 845–870 | 1550–1600 | 22 | 40 | 207–229 |
| A4 | Do not normalize | | 740–760 | 1360–1400 | 14 | 25 | 200–241 |
| A6 | Do not normalize | | 730–745 | 1350–1375 | 14 | 25 | 217–248 |
| A7 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 14 | 25 | 235–262 |
| A8 | Do not normalize | | 845–870 | 1550–1600 | 22 | 40 | 192–223 |
| A9 | Do not normalize | | 845–870 | 1550–1600 | 14 | 25 | 212–248 |
| A10 | 790 | 1450 | 765–795 | 1410–1460 | 8 | 15 | 235–269 |

Endurecimiento y atenuación del grupo A

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|---|-----------------|---------------------|------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Medium-alloy, air-hardening, cold-work steels | | | | | | | | | |
| A2 | Slowly | 790 | 1450 | 925–980 | 1700–1800 | 20–45 | A | 175–540 | 350–1000 |
| A3 | Slowly | 790 | 1450 | 955–980 | 1750–1800 | 25–60 | A | 175–540 | 350–1000 |
| A4 | Slowly | 675 | 1250 | 815–870 | 1500–1600 | 20–45 | A | 175–425 | 350–800 |
| A6 | Slowly | 650 | 1200 | 830–870 | 1525n–1600 | 20–45 | A | 150–425 | 300–800 |
| A7 | Very slowly | 815 | 1500 | 955–980 | 1750–1800 | 30–60 | A | 150–540 | 300–1000 |
| A8 | Slowly | 790 | 1450 | 980–1010 | 1800–1850 | 20–45 | A | 175–595 | 350–1100 |
| A9 | Slowly | 790 | 1450 | 980–1025 | 1800–1875 | 20–45 | A | 510–620 | 950–1150 |
| A10 | Slowly | 650 | 1200 | 790–815 | 1450–1500 | 30–60 | A | 175–425 | 350–800 |

Tratamiento y características del grupo A

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Air-hardening, medium-alloy, cold-work steels | | | | | | | | | |
| A2 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 57–62 | Medium | Medium | High | High |
| A3 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 57–65 | Medium | Medium | High | Very high |
| A4 | Medium to high | Deep | Lowest | Highest | 54–62 | Low to medium | Medium | Medium | Medium to high |
| A6 | Medium to high | Deep | Lowest | Highest | 54–60 | Low to medium | Medium | Medium | Medium to high |
| A7 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 57–67 | Low | Low | High | Highest |
| A8 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 50–60 | Medium | High | High | Medium to high |
| A9 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 35–56 | Medium | High | High | Medium to high |
| A10 | Medium to high | Deep | Lowest | Highest | 55–62 | Medium to high | Medium | Medium | High |

Propiedades del grupo A

Densidad y expansión térmica del grupo A

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------|-----|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| A2 | 7.86 | 0.284 | 10.7 | 10.6(c) | 12.9 | 14.0 | 14.2 | 5.96 | 5.9(c) | 7.2 | 7.8 | 7.9 |
| A6 | 7.84 | 0.283 | 11.5 | 12.4 | 13.5 | 13.9 | 14.2 | 6.4 | 6.9 | 7.5 | 7.7 | 7.9 |
| A7 | 7.66 | 0.277 | ... | ... | 12.4 | 12.9 | 13.5 | ... | ... | 6.9 | 7.2 | 7.5 |
| A8 | 7.87 | 0.284 | ... | ... | 12.0 | 12.4 | 12.6 | ... | ... | 6.7 | 6.9 | 7.0 |
| A9 | 7.78 | 0.281 | ... | ... | 12.0 | 12.4 | 12.6 | ... | ... | 6.7 | 6.9 | 7.0 |
| A10 | 7.68 | 0.278 | 12.8 | 13.3 | ... | ... | ... | 7.1 | 7.4 | ... | ... | ... |

Propiedades generales del grupo A

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|--|-------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance e(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Air-hardening, medium-alloy, cold-work steels | | | | | | | | |
| A2 | 6 | 4 | 5 | 57–62 | D | 8 ¹⁻² | 63–65 | 63–65 |
| A3 | 7 | 3 | 5 | 58–63 | D | 8 ¹⁻² | 63–65 | 63–65 |
| A4 | 5 | 4 | 4 | 54–62 | D | 8 ¹⁻² | 61–63 | 61–63 |
| A5 | 5 | 4 | 4 | 54–60 | D | 8 ¹⁻² | 60–62 | 60–62 |
| A6 | 4 | 5 | 4 | 54–60 | D | 8 ¹⁻² | 60–62 | 60–62 |
| A7 | 9 | 1 | 6 | 58–66 | D | 8 ¹⁻² | 64–66 | 64–66 |
| A8 | 4 | 8 | 6 | 48–57 | D | 8 | 60–62 | 60–62 |
| A9 | 4 | 8 | 6 | 40–56 | D | 8 | 55–57 | 55–57 |
| A10 | 3 | 3 | 3 | 55–62 | D | 8 | 60–63 | 60–63 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

GRUPO D

Composición grupo D

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|---|--------|-------------------|----------|----------|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels | | | | | | | | | | |
| D2 | T30402 | 1.40–1.60 | 0.60 max | 0.60 max | 11.00–13.00 | 0.30 max | 0.70–1.20 | ... | 1.10 max | ... |
| D3 | T30403 | 2.00–2.35 | 0.60 max | 0.60 max | 11.00–13.50 | 0.30 max | ... | 1.00 max | 1.00 max | ... |
| D4 | T30404 | 2.05–2.40 | 0.60 max | 0.60 max | 11.00–13.00 | 0.30 max | 0.70–1.20 | ... | 1.00 max | ... |
| D5 | T30405 | 1.40–1.60 | 0.60 max | 0.60 max | 11.00–13.00 | 0.30 max | 0.70–1.20 | ... | 1.00 max | 2.50–3.50 |
| D7 | T30407 | 2.15–2.50 | 0.60 max | 0.60 max | 11.50–13.50 | 0.30 max | 0.70–1.20 | ... | 3.80–4.40 | ... |

Equivalencias con otras normas grupo D

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| D2 | 1.2201, 1.2379, 1.2601 | G4404 SKD11 | 4659 (USA D2) Ä4659 BD2 Å4659 BD2A | A35–590 2235 Z160CDV12 | 2310 |
| D3 | 1.2080, 1.2436, 1.2884 | G4404 SKD1 ÄG4404 SKD2 | 4659 BD3 | A35–590 2233 Z200C12 | ... |
| D4 | 1.2436, 1.2884 | G4404 SKD2 | 4659 (USA D4) | A35–590 2234 Z200CD12 | 2312 |
| D5 | 1.2880 | ... | ... | A35–590 2236 Z160CKDV 12.03 | ... |
| D7 | 1.2378 | ... | ... | 2237 Z230CVA 12.04 | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo D

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo D

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|--|------------------|----|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels | | | | | | | |
| D2, D3, D4 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 217–255 |
| D5 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 223–255 |
| D7 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 235–262 |

Endurecimiento y atenuación del grupo D

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|--|-----------------|---------------------|------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels | | | | | | | | | |
| D1, D5 | Very slowly | 815 | 1500 | 980–1025 | 1800–1875 | 15–45 | A | 205–540 | 400–1000 |
| D3 | Very slowly | 815 | 1500 | 925–980 | 1700–1800 | 15–45 | O | 205–540 | 400–1000 |
| D4 | Very slowly | 815 | 1500 | 970–1010 | 1775–1850 | 15–45 | A | 205–540 | 400–1000 |
| D7 | Very slowly | 815 | 1500 | 1010–1065 | 1850–1950 | 30–60 | A | 150–540 | 300–1000 |

Tratamiento y características del grupo D

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels | | | | | | | | | |
| D2 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 54–61 | Low | Low | High | High to very high |
| D3 | Medium | Deep | Very low | High | 54–61 | Low | Low | High | Very high |
| D4 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 54–61 | Low | Low | High | Very high |
| D5 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 54–61 | Low | Low | High | High to very high |
| D7 | Medium | Deep | Lowest | Highest | 58–65 | Low | Low | High | Highest |

Propiedades del grupo D

Densidad y expansión térmica del grupo D

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------|-----|
| | | | μm/in · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| D2 | 7.70 | 0.278 | 10.4 | 10.3 | 11.9 | 12.2 | 12.2 | 5.8 | 5.7 | 6.6 | 6.8 | 6.8 |
| D3 | 7.70 | 0.278 | 12.0 | 11.7 | 12.9 | 13.1 | 13.5 | 6.7 | 6.5 | 7.2 | 7.3 | 7.5 |
| D4 | 7.70 | 0.278 | ... | ... | 12.4 | ... | ... | ... | ... | 6.9 | ... | ... |
| D5 | ... | ... | ... | ... | ... | 12.0 | ... | ... | ... | ... | 6.7 | ... |

Propiedades generales del grupo D

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|--|------------------------|------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance (b) | Toughness (c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| High-carbon, high-chromium, cold-work steels | | | | | | | | |
| D2 | 8 | 2 | 6 | 58–64 | D | 7 ¹ / ₂ | 61–64 | 61–64 |
| D3 | 8 | 1 | 6 | 58–64 | D | 7 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| D4 | 8 | 1 | 6 | 58–64 | D | 7 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| D5 | 8 | 2 | 7 | 58–63 | D | 7 ¹ / ₂ | 61–64 | 61–64 |
| D7 | 9 | 1 | 6 | 58–66 | D | 7 ¹ / ₂ | 64–68 | 64–68 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

GRUPO O

Composición grupo O

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Oil-hardening cold-work steels | | | | | | | | | | |
| O1 | T31501 | 0.85–1.00 | 1.00–1.40 | 0.50 max | 0.40–0.60 | 0.30 max | ... | 0.40–0.60 | 0.30 max | ... |
| O2 | T31502 | 0.85–0.95 | 1.40–1.80 | 0.50 max | 0.50 max | 0.30 max | 0.30 max | ... | 0.30 max | ... |
| O6 | T31506 | 1.25–1.55(c) | 0.30–1.10 | 0.55–1.50 | 0.30 max | 0.30 max | 0.20–0.30 | ... | ... | ... |
| O7 | T31507 | 1.10–1.30 | 1.00 max | 0.60 max | 0.35–0.85 | 0.30 max | 0.30 max | 1.00–2.00 | 0.40 max | ... |

Equivalencias con otras normas grupo O

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|---|--|--|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Oil-hardening cold-work steels (ASTM A 681) | | | | | |
| O1 | 1.2510 | G4404 SKS21 ÅG4404 SKS3 ÅG4404 SKS93 ÅG4404 SKS94 ÅG4404 SKS95 | 4659 BO1 | A35–590 2212 90 MWC V5 | 2140 |
| O2 | 1.2842 | ... | 4659 (USA O2) Å4659 BO2 | A35–590 2211 90MV8 | ... |
| O6 | 1.2206 | ... | ... | A35–590 2132 130C3 | ... |
| O7 | 1.2414, 1.2419, 1.2442, 1.2516, 1.2519 | G4404 SKS2 | ... | A35–590 2141 105WC13 | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo O

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo O

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|--------------------------------|----------------|------|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Oil-hardening cold-work steels | | | | | | | |
| O1 | 870 | 1600 | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 183–212 |
| O2 | 845 | 1550 | 845–770 | 1375–1425 | 22 | 40 | 183–212 |
| O6 | 870 | 1600 | 765–790 | 1410–1450 | 11 | 20 | 183–217 |
| O7 | 900 | 1650 | 790–815 | 1450–1500 | 22 | 40 | 192–217 |

Endurecimiento y atenuación del Grupo O

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Oil-hardening cold-work steels | | | | | | | | | |
| O1 | Slowly | 650 | 1200 | 790–815 | 1450–1500 | 10–30 | O | 175–260 | 350–500 |
| O2 | Slowly | 650 | 1200 | 760–800 | 1400–1475 | 5–20 | O | 175–260 | 350–500 |
| O6 | Slowly | ... | ... | 790–815 | 1450–1500 | 10–30 | O | 175–315 | 350–600 |
| O7 | Slowly | 650 | 1200 | 790–830 845–885 | W: 1450–1525 O: 1550–1625 | 10–30 | O or W | 175–290 | 350–550 |

Tratamiento y características del grupo O

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Oil-hardening cold-work steels | | | | | | | | | |
| O1 | High | Medium | Very low | Very high | 57–62 | High | Medium | Low | Medium |
| O2 | High | Medium | Very low | Very high | 57–62 | High | Medium | Low | Medium |
| O6 | High | Medium | Very low | Very high | 58–63 | Highest | Medium | Low | Medium |
| O7 | High | Medium | O, very low; W, high | W, low; O, very high | 58–64 | High | Medium | Low | Medium |

Propiedades del grupo O

Densidad y expansión térmica del grupo O

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|---------|--------|---------|---------|-----------------------------|--------|--------|---------|--------|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| O1 | 7.85 | 0.283 | ... | 10.6(c) | 12.8 | 14.0(d) | 14.4(d) | ... | 5.9(c) | 7.1 | 7.8(d) | 8.0(d) |
| O2 | 7.66 | 0.277 | 11.2 | 12.6 | 13.9 | 14.6 | 15.1 | 6.2 | 7.0 | 7.7 | 8.1 | 8.4 |
| O6 | 7.70 | 0.277 | ... | 11.2 | 12.6 | 12.9 | 13.7 | ... | 6.2 | 7.0 | 7.2 | 7.6 |
| O7 | 7.8 | 0.282 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Propiedades generales del grupo O

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|--------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Oil-hardening cold-work steels | | | | | | | | |
| O1 | 4 | 3 | 3 | 57–62 | M | 9 | 61–64 | 59–61 |
| O2 | 4 | 3 | 3 | 57–62 | M | 9 | 61–64 | 59–61 |
| O6 | 3 | 3 | 2 | 58–63 | M | 9 | 65–67 | 50–55 |
| O7 | 5 | 3 | 3 | 58–64 | M | 9 | 61–64 | 59–61 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

3.1.5. Aceros rápidos (grupo T y M)

Los *aceros rápidos* son aleaciones de Fe y C de bajo contenido en Carbono, entre 0,7 y 0,9%, al cual se le añade un 13-19% de W, 3,5-4,5% de Cr y un 0,8 y 3,2% de V. Reciben el nombre de aceros rápidos, debido a que la herramientas fabricadas con estos aceros pueden mecanizar los materiales de una forma mucho más rápida, es decir, permiten emplear velocidades de corte mucho más elevadas que las que permiten emplear las herramientas de acero al carbono. Esto es debido a que los aceros rápidos mantienen la dureza y el filo cortante en caliente aunque la herramienta llegue hasta 500-600°C durante el trabajo. El resto de aceros de herramientas se ablandan y desafilan rápidamente cuando se alcanzan temperaturas superiores a 250°C. Las excelentes propiedades de estos aceros se obtienen después de que los aceros hayan sido templados a muy alta temperatura, entre 1200 y 1300°C, muy superior a la que corresponde a los demás aceros. Después de este tratamiento de temple se les da uno o varios revenidos. Los aceros rápidos se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

Aceros al Wolframio

Son aceros en los que el contenido en C varía entre 0,6 y 1%; el de W entre 12 y 20%; el de V entre 1 y 15% y el de Cr entre 3 y 4,5%. Se clasifican, a su vez, en tres subgrupos. El primer subgrupo incluye los aceros al W que se destinan a trabajos de desbaste con máquinas potentes que emplean grandes pasadas. Su composición química está comprendida entre los siguientes límites, T1 y T2:

| %C | %W | %V | %Cr | %Mo |
|-------|-------|-----|-------|-----|
| 0,6-1 | 17-20 | 1-2 | 4-4,5 | 0-1 |

El segundo subgrupo lo forman los aceros de gran dureza, destinados a operaciones de terminación y en operaciones delicadas. Su composición química está comprendida entre los siguientes límites, T3 y T9:

| %C | %W | %V | %Cr | %Mo |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 0,8-1,3 | 16-20 | 2-5 | 4 | 0-1 |

Y finalmente, el tercer subgrupo lo forman los llamados aceros semirrápidos, que son aceros de más baja aleación y un menor rendimiento y cuya composición química está comprendida entre los siguientes límites, T7:

| %C | %W |
|---------|-------|
| 0,6-0,8 | 14-16 |

Aceros al Cobalto

Son aceros cuyo contenido en W oscila entre el 14 y el 20% y el de Cobalto entre el 3 y el 12%, el cual mejora la dureza, la resistencia en caliente y permite el temple a unas temperaturas más elevadas, sin el riesgo de que se queme el acero. Se recomienda su uso cuando se empleen máquinas potentes y se mecanicen materiales duros a las mayores velocidades y con fuertes pasadas. Estos aceros se clasifican en tres subgrupos: aceros al W con Co (T4, T5, T6,

T8 y T15); aceros al Mo con Co (M6, M30, M34, M35 y M36); aceros de alto contenido en V con Mo y Co (M3-1, M3-2, M41, M42, M43, M44, M46 y M47).

Aceros al Molibdeno

Son aceros cuya composición química aproximada es de un 8% de Mo, 4% de Cr y un 1% de V. Las temperaturas de temple y revenido de estos aceros son inferiores a las de los aceros al W. Requieren además mayores cuidados que estos últimos, pues al calentarse a elevadas temperaturas tienden a descaburarse. Entre los aceros al Mo más empleados están el M2 y el M1.

Aceros de altos contenidos en Vanadio y Carbono

Son aceros que debido a su alto contenido en V y C permiten mayores velocidades de corte, consiguiendo de esta forma mayores rendimientos de las máquinas potentes.

La principal aplicación de estos aceros es la fabricación de herramientas de corte, aunque también se utilizan en la construcción de matrices de extrusión, herramientas para bruñir y punzones de corte.

Los cuatro grupos anteriores se podrían clasificar también en dos grupos: aceros con molibdeno (grupo M) y aceros con tungsteno (grupo T).

GRUPO M

Composición grupo M

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------|------------|-----------|-------------|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Molybdenum high-speed steels | | | | | | | | | | |
| M1 | T11301 | 0.78–0.88 | 0.15–0.40 | 0.20–0.50 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 8.20–9.20 | 1.40–2.10 | 1.00–1.25 | ... |
| M2 | T11302 | 0.78–0.88; 0.95–1.05 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.50–5.50 | 5.50–6.75 | 1.75–2.20 | ... |
| M3, class 1 | T11313 | 1.00–1.10 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.75–6.50 | 5.00–6.75 | 2.25–2.75 | ... |
| M3, class 2 | T11323 | 1.15–1.25 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.75–6.50 | 5.00–6.75 | 2.75–3.75 | ... |
| M4 | T11304 | 1.25–1.40 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.75 | 0.30 max | 4.25–5.50 | 5.25–6.50 | 3.75–4.50 | ... |
| M7 | T11307 | 0.97–1.05 | 0.15–0.40 | 0.20–0.55 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 8.20–9.20 | 1.40–2.10 | 1.75–2.25 | ... |
| M10 | T11310 | 0.84–0.94; 0.95–1.05 | 0.10–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 7.75–8.50 | ... | 1.80–2.20 | ... |
| M30 | T11330 | 0.75–0.85 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.50–4.25 | 0.30 max | 7.75–9.00 | 1.30–2.30 | 1.00–1.40 | 4.50–5.50 |
| M33 | T11333 | 0.85–0.92 | 0.15–0.40 | 0.15–0.50 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 9.00–10.00 | 1.30–2.10 | 1.00–1.35 | 7.75–8.75 |
| M34 | T11334 | 0.85–0.92 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 7.75–9.20 | 1.40–2.10 | 1.90–2.30 | 7.75–8.75 |
| M35 | T11335 | 0.82–0.88 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.50–5.50 | 5.50–6.75 | 1.75–2.20 | 4.50–5.50 |
| M36 | T11336 | 0.80–0.90 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 4.50–5.50 | 5.50–6.50 | 1.75–2.25 | 7.75–8.75 |
| M41 | T11341 | 1.05–1.15 | 0.20–0.60 | 0.15–0.50 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 3.25–4.25 | 6.25–7.00 | 1.75–2.25 | 4.75–5.75 |
| M42 | T11342 | 1.05–1.15 | 0.15–0.40 | 0.15–0.65 | 3.50–4.25 | 0.30 max | 9.00–10.00 | 1.15–1.85 | 0.95–1.35 | 7.75–8.75 |
| M43 | T11343 | 1.15–1.25 | 0.20–0.40 | 0.15–0.65 | 3.50–4.25 | 0.30 max | 7.50–8.50 | 2.25–3.00 | 1.50–1.75 | 7.75–8.75 |
| M44 | T11344 | 1.10–1.20 | 0.20–0.40 | 0.30–0.55 | 4.00–4.75 | 0.30 max | 6.00–7.00 | 5.00–5.75 | 1.85–2.20 | 11.00–12.25 |
| M46 | T11346 | 1.22–1.30 | 0.20–0.40 | 0.40–0.65 | 3.70–4.20 | 0.30 max | 8.00–8.50 | 1.90–2.20 | 3.00–3.30 | 7.80–8.80 |
| M47 | T11347 | 1.05–1.15 | 0.15–0.40 | 0.20–0.45 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 9.25–10.00 | 1.30–1.80 | 1.15–1.35 | 4.75–5.25 |
| M48 | T11348 | 1.42–1.52 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 4.75–5.50 | 9.50–10.50 | 2.75–3.25 | 8.00–10.00 |
| M62 | T11362 | 1.25–1.35 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 3.50–4.00 | 0.30 max | 10.00–11.00 | 5.75–6.50 | 1.80–2.10 | ... |

| Intermediate high-speed steels | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| M50 | T11350 | 0.78–0.88 | 0.15–0.45 | 0.20–0.60 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 3.90–4.75 | ... | 0.80–1.25 |
| M52 | T11352 | 0.85–0.95 | 0.15–0.45 | 0.20–0.60 | 3.50–4.30 | 0.30 max | 4.00–4.90 | 0.75–1.50 | 1.65–2.25 |

Equivalencias con otras normas grupo M

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|--|-----------------------------|-------------------------|--|----------------------------|
| Molybdenum high-speed steels (ASTM A 600) | | | | | |
| M1 | 1.3346 | ... | 4659 BM1 | A35–590 4441 Z85DCWV08-04-02-01 | 2715 |
| M2, reg C | 1.3341, 1.3343, 1.3345, 1.3553, 1.3554 | G4403 SKH51 Ä(SKH9) | 4659 BM2 | A35–590 4301 Z85WDCV06-05-04-02 | 2722 |
| M2, high C | 1.3340, 1.3342 | ... | ... | A35–590 4302 Z90WDCV06-05-04-02 | ... |
| M3, class 1 | ... | G4403 SKH52 | ... | ... | ... |
| M3, class 2 | 1.3344 | G4403 SKH53 | ... | A35–590 4360 Z120 WDCV06-05-04-03 | (USA M3 class 2) |
| M4 | ... | G4403 SKH54 | 4659 BM4 | A35–590 4361 Z130 WDCV06-05-04-04 | ... |
| M7 | 1.3348 | G4403 SKH58 | ... | A35–590 4442 Z100DCWV09-04-02-02 | 2782 |
| M10, reg C | ... | ... | ... | ... | ... |
| M10, high C | ... | ... | ... | ... | ... |
| M30 | 1.3249 | ... | 4659 BM34 | ... | ... |
| M33 | 1.3249 | ... | 4659 BM34 | ... | ... |
| M34 | 1.3249 | ... | 4659 BM34 | ... | ... |
| M35 | 1.3243 | G4403 SKH55 | ... | A35–590 4371 Z85WDCV06-05-05-04-02 ÄA35–590 4372 Z9WDCV06-05-05-04-02 | ... |
| M36 | 1.3243 | G4403 SKH55 ÄG4403 SKH56 | ... | A35–590 4371 Z85WDCV06-05-05-04 | 2723 |
| M41 | 1.3245, 1.3246 | G4403 SKH55 | ... | A35–590 4374 Z110WKCDV07-05-04-04 | 2736 |
| M42 | 1.3247 | G4403 SKH59 | 4659 BM42 | A35–590 4475 Z110DKCWV09-08-04-02 | ... |
| M43 | ... | ... | ... | A35–590 4475 Z110DKCWV09-08-04-02-01 | ... |
| M44 | 1.3207 | G4403 SKH57 | 4659 (USA M44) | A35–590 4376 Z130KWDCV12-07-06-04-03 | ... |
| M46 | 1.3247 | ... | ... | ... | ... |
| M47 | 1.3247 | ... | ... | ... | ... |
| Intermediate high-speed steels | | | | | |
| M50 | 1.2369, 1.3551 | ... | ... | A35–590 3551 Y80DCV42.16 | (USA M50) |
| M52 | ... | ... | ... | ... | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo M

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo M

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|---|------------------|----|--------------|-----------|--------------------------|------|--------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Molybdenum high-speed steels | | | | | | | |
| M1, M10 | Do not normalize | | 815–870 | 1500–1600 | 22 | 40 | 207–235 |
| M2 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 212–241 |
| M3, M4 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 223–255 |
| M7 | Do not normalize | | 815–870 | 1500–1600 | 22 | 40 | 217–255 |
| M30, M33, M34, M35, M36, M41, M42, M46, M47 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 235–269 |
| M43 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 248–269 |
| M44 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 248–293 |
| M48 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 285–311 |
| M62 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 262–285 |

Endurecimiento y atenuación del grupo M

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenchi ng medium(a) | Temper ing temper ature | |
|------------------------------|----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temper ature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Molybdenum high-speed steels | | | | | | | | | |
| M1, M7, M10 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1175–1220 | 2150–2225(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| M2 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1190–1230 | 2175–2250(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| M3, M4, M30, M33, M34, M35 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1205–1230(b) | 2200–2250(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| M36 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1220–1245(b) | 2225–2275(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| M41 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1190–1215(b) | 2175–2220(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(d) | 1000–1100(d) |
| M42 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1190–1210(b) | 2175–2210(b) | 2–5 | O, A, or S | 510–595(d) | 950–1100(d) |
| M43 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1190–1215(b) | 2175–2220(b) | 2–5 | O, A, or S | 510–595(d) | 950–1100(d) |
| M44 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1200–1225(b) | 2190–2240(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–625(d) | 1000–1160(d) |
| M46 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1190–1220(b) | 2175–2225(b) | 2–5 | O, A, or S | 525–565(d) | 975–1050(d) |
| M47 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1175–1200(b) | 2150–2200(b) | 2–5 | O, A, or S | 525–595(d) | 975–1100(d) |
| M48 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1175–1200(b) | 2150–2200(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(d) | 1000–1100(d) |
| M62 | Rapidly from preheat | 730–845 | 1350–1550 | 1175–1200(b) | 2150–2200(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(d) | 1000–1100(d) |

Tratamiento y características del grupo M

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Molybdenum high-speed steels | | | | | | | | | |
| M1 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Very high | Very high |
| M2 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Very high | Very high |
| M3 (class 1 and class 2) | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 61–66 | Medium | Low | Very high | Very high |
| M4 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 61–66 | Low to medium | Low | Very high | Highest |
| M7 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 61–66 | Medium | Low | Very high | Very high |
| M10 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Very high | Very high |
| M30 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M33 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M34 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M35 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M36 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M41 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 65–70 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M42 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 65–70 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M43 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 65–70 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M44 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 62–70 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M47 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 65–70 | Medium | Low | Highest | Very high |
| M48 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 65–70 | Low | Low | Highest | Highest |
| M62 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 62–68 | Medium | Low | Highest | Very high |

Propiedades del grupo M

Densidad y expansión térmica del grupo M

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------|---------------------|---|---------|--------|--------|--------|---|--------|--------|---------|---------|
| | | | $\mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{K}$ from 20 °C to | | | | | $\mu\text{in.}/\text{in.} \cdot ^\circ\text{F}$ from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | 1200 °F |
| M1 | 7.89 | 0.285 | ... | 10.6(c) | 11.3 | 12.0 | 12.4 | ... | 5.9(c) | 6.3 | 6.7 | 6.9 |
| M2 | 8.16 | 0.295 | 10.1 | 9.4(c) | 11.2 | 11.9 | 12.2 | 5.6 | 5.2(c) | 6.2 | 6.6 | 6.8 |
| M3, class 1 | 8.15 | 0.295 | ... | ... | 11.5 | 12.0 | 12.2 | ... | ... | 6.4 | 6.7 | 6.8 |
| M3, class 2 | 8.16 | 0.295 | ... | ... | 11.5 | 12.0 | 12.8 | ... | ... | 6.4 | 6.7 | 7.1 |
| M4 | 7.97 | 0.288 | ... | 9.5(c) | 11.2 | 12.0 | 12.2 | ... | 5.3(c) | 6.2 | 6.7 | 6.8 |
| M7 | 7.95 | 0.287 | ... | 9.5(c) | 11.5 | 12.2 | 12.4 | ... | 5.3(c) | 6.4 | 6.8 | 6.9 |
| M10 | 7.88 | 0.255 | ... | ... | 11.0 | 11.9 | 12.4 | ... | ... | 6.1 | 6.6 | 6.9 |
| M30 | 8.01 | 0.289 | ... | ... | 11.2 | 11.7 | 12.2 | ... | ... | 6.2 | 6.5 | 6.8 |
| M33 | 8.03 | 0.290 | ... | ... | 11.0 | 11.7 | 12.0 | ... | ... | 6.1 | 6.5 | 6.7 |
| M36 | 8.18 | 0.296 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| M41 | 8.17 | 0.295 | ... | 9.7 | 10.4 | 11.2 | ... | ... | 5.4 | 5.8 | 6.2 | ... |
| M42 | 7.98 | 0.288 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| M46 | 7.83 | 0.283 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| M47 | 7.96 | 0.288 | 10.6 | 11.0 | 11.9 | ... | 12.6 | 5.9 | 6.1 | 6.6 | ... | 7.0 |

Conductividad térmica del grupo M

| Temperature | | Thermal conductivity | |
|-------------|------|----------------------|-----------------|
| °C | °F | W/m · K | Btu/ft · h · °F |
| Type M2 | | | |
| 95 | 200 | 21.3 | 12.3 |
| 200 | 500 | 23.5 | 13.6 |
| 400 | 750 | 25.6 | 14.8 |
| 540 | 1000 | 27.0 | 15.6 |
| 675 | 1250 | 28.9 | 16.7 |

Propiedades generales del grupo M

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Molybdenum high-speed steels | | | | | | | | |
| M1 | 7 | 3 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M2 | 7 | 3 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M3, class 1 | 8 | 3 | 8 | 63–66 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M3, class 2 | 8 | 3 | 8 | 63–66 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M4 | 9 | 3 | 8 | 63–66 | D | 9 ¹ / ₂ | 65–67 | 65–67 |
| M7 | 8 | 3 | 8 | 63–66 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M10 | 7 | 3 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M30 | 7 | 2 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M33 | 8 | 1 | 9 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M34 | 8 | 1 | 9 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M35 | 7 | 2 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M36 | 7 | 1 | 9 | 63–65 | D | 9 ¹ / ₂ | 64–66 | 64–66 |
| M41 | 8 | 1 | 9 | 66–70 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M42 | 8 | 1 | 9 | 66–70 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M43 | 8 | 1 | 9 | 66–70 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M44 | 8 | 1 | 9 | 66–70 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M46 | 8 | 1 | 9 | 66–69 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M47 | 8 | 1 | 9 | 66–70 | D | 9 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| Intermediate high-speed steels | | | | | | | | |
| M50 | 6 | 3 | 6 | 61–63 | D | 8 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |
| M52 | 6 | 3 | 6 | 62–64 | D | 8 ¹ / ₂ | 63–65 | 63–65 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

GRUPO M

Composición grupo T

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Tungsten high-speed steels | | | | | | | | | | |
| T1 | T12001 | 0.65–0.80 | 0.10–0.40 | 0.20–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | ... | 17.25–18.75 | 0.90–1.30 | ... |
| T2 | T12002 | 0.80–0.90 | 0.20–0.40 | 0.20–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 1.00 max | 17.50–19.00 | 1.80–2.40 | ... |
| T4 | T12004 | 0.70–0.80 | 0.10–0.40 | 0.20–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 0.40–1.00 | 17.50–19.00 | 0.80–1.20 | 4.25–5.75 |
| T5 | T12005 | 0.75–0.85 | 0.20–0.40 | 0.20–0.40 | 3.75–5.00 | 0.30 max | 0.50–1.25 | 17.50–19.00 | 1.80–2.40 | 7.00–9.50 |
| T6 | T12006 | 0.75–0.85 | 0.20–0.40 | 0.20–0.40 | 4.00–4.75 | 0.30 max | 0.40–1.00 | 18.50–21.00 | 1.50–2.10 | 11.00–13.00 |
| T8 | T12008 | 0.75–0.85 | 0.20–0.40 | 0.20–0.40 | 3.75–4.50 | 0.30 max | 0.40–1.00 | 13.25–14.75 | 1.80–2.40 | 4.25–5.75 |
| T15 | T12015 | 1.50–1.60 | 0.15–0.40 | 0.15–0.40 | 3.75–5.00 | 0.30 max | 1.00 max | 11.75–13.00 | 4.50–5.25 | 4.75–5.25 |

Equivalencias con otras normas grupo T

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Tungsten high-speed steels (ASTM A 600) | | | | | |
| T1 | 1.3355, 1.3558 | G4403 SKH2 | 4659 BT1 | A35-590 4201 Z80WCV18-04-01 | ... |
| T2 | ... | ... | 4659 BT2 Ã4659 BT20 | 4203 18-0-2 | ... |
| T4 | 1.3255 | G4403 SKH3 | 4659 BT4 | A35-590 4271 Z80WKC18-05-04-01 | ... |
| T5 | 1.3265 | G4403 SKH4 | 4659 BT5 | A35-590 4275 Z80WKC18-10-04-02 | (USA T5) |
| T6 | 1.3257 | G4403 SKH4B | 4659 BT6 | ... | ... |
| T8 | ... | ... | ... | ... | ... |
| T15 | 1.3202 | G4403 SKH10 | 4659 BT15 | A35-590 4171 Z160WKVC12-05-05-04 | (USA T15) |

Tratamientos térmicos Típico del grupo T

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo T

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|----------------------------|------------------|----|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Tungsten high-speed steels | | | | | | | |
| T1 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 217–255 |
| T2 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 223–255 |
| T4 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 229–269 |
| T5 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 235–277 |
| T6 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 248–293 |
| T8 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 229–255 |
| T15 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 22 | 40 | 241–277 |

Endurecimiento y atenuación del grupo T

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|----------------------------|----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Tungsten high-speed steels | | | | | | | | | |
| T1, T2, T4, T8 | Rapidly from preheat | 815–870 | 1500–1600 | 1260–1300(b) | 2300–2375(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| T5, T6 | Rapidly from preheat | 815–870 | 1500–1600 | 1275–1300(b) | 2325–2375(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–595(c) | 1000–1100(c) |
| T15 | Rapidly from preheat | 815–870 | 1500–1600 | 1205–1260(b) | 2200–2300(b) | 2–5 | O, A, or S | 540–650(d) | 1000–1200(d) |

Tratamiento y características del grupo T

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Tungsten high-speed steels | | | | | | | | | |
| T1 | High | Deep | A or S, low; O, medium | High | 60–65 | Medium | Low | Very high | Very high |
| T2 | High | Deep | A or S, low; O, medium | High | 61–66 | Medium | Low | Very high | Very high |
| T4 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 62–66 | Medium | Low | Highest | Very high |
| T5 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| T6 | Low | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Low to medium | Low | Highest | Very high |
| T8 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| T15 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 63–68 | Low to medium | Low | Highest | Highest |

Propiedades del grupo T

Densidad y expansión térmica del grupo T

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|------------------------|--------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|---------|---------|
| | | | $\mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{K}$ from 20 °C to | | | | | $\mu\text{in.}/\text{in.} \cdot \text{°F}$ from 70 °F to | | | | |
| | g/cm^3 | $\text{lb}/\text{in.}^3$ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | 1200 °F |
| T1 | 8.67 | 0.313 | ... | 9.7 | 11.2 | 11.7 | 11.9 | ... | 5.4 | 6.2 | 6.5 | 6.6 |
| T2 | 8.67 | 0.313 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| T4 | 8.68 | 0.313 | ... | ... | ... | 11.9 | ... | ... | ... | ... | 6.6 | ... |
| T5 | 8.75 | 0.316 | 11.2 | ... | ... | 11.5 | ... | 6.2 | ... | ... | 6.4 | ... |
| T6 | 8.89 | 0.321 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| T8 | 8.43 | 0.305 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| T15 | 8.19 | 0.296 | ... | 9.9 | 11.0 | 11.5 | ... | ... | 5.5(c) | 6.1 | 6.4 | ... |

Conductividad térmica del grupo T

| Temperature | | Thermal conductivity | |
|-----------------|------|------------------------------------|---|
| °C | °F | $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ | $\text{Btu}/\text{ft} \cdot \text{h} \cdot \text{°F}$ |
| Type T1 | | | |
| 95 | 200 | 19.9 | 11.5 |
| 260 | 500 | 21.6 | 12.5 |
| 400 | 750 | 23.2 | 13.4 |
| 540 | 1000 | 24.7 | 14.3 |
| Type T15 | | | |
| 95 | 200 | 20.9 | 12.1 |
| 200 | 500 | 24.1 | 13.9 |
| 400 | 750 | 25.4 | 14.7 |
| 540 | 1000 | 26.3 | 15.2 |

Propiedades generales del grupo T

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Tungsten high-speed steels | | | | | | | | |
| T1 | 7 | 3 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹⁻² | 64–66 | 64–66 |
| T2 | 8 | 3 | 8 | 63–66 | D | 9 ¹⁻² | 65–67 | 65–67 |
| T4 | 7 | 2 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹⁻² | 63–66 | 63–66 |
| T5 | 7 | 1 | 9 | 63–65 | D | 9 ¹⁻² | 64–66 | 64–66 |
| T6 | 8 | 1 | 9 | 63–65 | D | 9 ¹⁻² | 64–66 | 64–66 |
| T8 | 8 | 2 | 8 | 63–65 | D | 9 ¹⁻² | 64–66 | 64–66 |
| T15 | 9 | 1 | 9 | 64–68 | D | 9 ¹⁻² | 65–68 | 65–68 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

3.1.6. Aceros para usos especiales (grupo F y L)

Los aceros al tungsteno (grupo F) presentan una resistencia al desgaste muy bueno, utilizándose para la construcción de herramientas de bruñir, hileras de trefilar matrices de estampar y matareis para extrusión en frío.

Los aceros de baja aleación (grupo L) especialmente los que contienen níquel, destacan por su tenacidad. Se utilizan par la fabricación de herramientas y piezas sometidas a golpes fuertes, como ocurre con las cuchillas de las cizallas, rodillos de laminar roscas, algunas piezas de los embragues y trinquetas y uñas de retenida de los divisores.

GRUPO L

Composición grupo L

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----|--------------|-----|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Low-Alloy special-purpose tool steels | | | | | | | | | | |
| L2 | T61202 | 0.45–1.00(b) | 0.10–0.90 | 0.50 max | 0.70–1.20 | ... | 0.25 max | ... | 0.10–0.30 | ... |
| L6 | T61206 | 0.65–0.75 | 0.25–0.80 | 0.50 max | 0.60–1.20 | 1.25–2.00 | 0.50 max | ... | 0.20–0.30(d) | ... |

Equivalencias con otras normas grupo L

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|--|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| Low-alloy special-purpose steels (ASTM A 681) | | | | | |
| L2 | 1.2235, 1.2241, 1.2242, 1.2243 | G4404 SKT3 ÄG4410 SKC11 | ... | A35–590 3335 55CNDV4 | ... |
| L6 | 1.2713, 1.2714 | G4404 SKS51 ÄG4404 SKT4 | ... | A35–590 3381 55NCDV7 | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo L

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo L

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|----------------------------------|----------------|-----------|--------------|-----------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Low-alloy special-purpose steels | | | | | | | |
| L2 | 871–900 | 1600–1650 | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 163–197 |
| L3 | 900 | 1650 | 790–815 | 1450–1500 | 22 | 40 | 174–201 |
| L6 | 870 | 1600 | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 183–212 |

Endurecimiento y atenuación del grupo L

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Low-alloy special-purpose steels | | | | | | | | | |
| L2 | Slowly | ... | ... | W: 790–845 O: 845–925 | W: 1450–1550 O: 1550–1700 | 10–30 | O or W | 175–540 | 350–1000 |
| L3 | Slowly | ... | ... | W: 775–815 O: 815–870 | W: 1425–1500 O: 1500–1600 | 10–30 | O or W | 175–315 | 350–600 |
| L6 | Slowly | ... | ... | 790–845 | 1450–1550 | 10–30 | O | 175–540 | 350–1000 |

Tratamiento y características del grupo L

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| T8 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 60–65 | Medium | Low | Highest | Very high |
| T15 | Medium | Deep | A or S, low; O, medium | Medium | 63–68 | Low to medium | Low | Highest | Highest |
| Low-alloy special-purpose steels | | | | | | | | | |
| L2 | High | Medium | O, medium; W, low | O, medium; W, high | 45–63 | High | Very high(c) | Low | Low to medium |
| L6 | High | Medium | Low | High | 45–62 | Medium | Very high | Low | Medium |

Propiedades del grupo L

Densidad y expansión térmica del grupo L

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------|-----|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| L2 | 7.86 | 0.284 | ... | ... | 14.4 | 14.6 | 14.8 | ... | ... | 8.0 | 8.1 | 8.2 |
| L6 | 7.86 | 0.284 | 11.3 | 12.6 | 12.6 | 13.5 | 13.7 | 6.3 | 7.0 | 7.0 | 7.5 | 7.6 |

Propiedades generales del grupo L

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| Low-alloy special-purpose steels | | | | | | | | |
| L2 | 1 | 7 | 2 | 45–62 | M | 8 ¹ / ₂ | 56–62 | 54–58 |
| L6 | 3 | 6 | 2 | 45–62 | M | 8 | 58–63 | 58–62 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

GRUPO F

Composición grupo F

| Type | Composition, % | | | | | |
|------|----------------|------|-----|------|-----|--------|
| | C | W | Mo | Cr | V | Others |
| F2 | 1.25 | 3.50 | --- | --- | --- | --- |
| F3 | 1.25 | 3.50 | --- | 0.75 | --- | --- |

Tratamientos térmicos Típico del grupo F

Normalización y templadura de las temperaturas del grupo F

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|--|----------------|------|--------------|-----------|--------------------------|------|--------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Carbon-tungsten special-purpose steels | | | | | | | |
| F1 | 900 | 1650 | 760–800 | 1400–1475 | 22 | 40 | 183–207 |
| F2 | 900 | 1650 | 790–815 | 1450–1500 | 22 | 40 | 207–235 |

Endurecimiento y atenuación del grupo F

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | |
|--|-----------------|---------------------|------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | |
| Carbon-tungsten special-purpose steels | | | | | | | | | |
| F1, F2 | Slowly | 650 | 1200 | 790–870 | 1450–1600 | 15 | W or B | 175–260 | 350–500 |

3.1.7. Aceros para moldes (grupo P)

Los aceros para moldes (grupo P) se utilizan para la fabricación de troqueles para la industria de plásticos, los cuales se conforman por punzonado o por un proceso mixto de punzonado y mecanizado.

GRUPO P

Composición grupo P

| Designation | | Composition(a), % | | | | | | | | |
|------------------------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|-----------------|
| AISI | UNS | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | V | Co |
| Low-carbon mold steels | | | | | | | | | | |
| P2 | T51602 | 0.10 max | 0.10–0.40 | 0.10–0.40 | 0.75–1.25 | 0.10–0.50 | 0.15–0.40 | ... | ... | ... |
| P3 | T51603 | 0.10 max | 0.20–0.60 | 0.40 max | 0.40–0.75 | 1.00–1.50 | ... | ... | ... | ... |
| P4 | T51604 | 0.12 max | 0.20–0.60 | 0.10–0.40 | 4.00–5.25 | ... | 0.40–1.00 | ... | ... | ... |
| P5 | T51605 | 0.10 max | 0.20–0.60 | 0.40 max | 2.00–2.50 | 0.35 max | ... | ... | ... | ... |
| P6 | T51606 | 0.05–0.15 | 0.35–0.70 | 0.10–0.40 | 1.25–1.75 | 3.25–3.75 | ... | ... | ... | ... |
| P20 | T51620 | 0.28–0.40 | 0.60–1.00 | 0.20–0.80 | 1.40–2.00 | ... | 0.30–0.55 | ... | ... | ... |
| P21 | T51621 | 0.18–0.22 | 0.20–0.40 | 0.20–0.40 | 0.50 max | 3.90–4.25 | ... | ... | 0.15–0.25 | 1.05–1.25 Al |

Equivalencias con otras normas grupo P

| United States (AISI) | West Germany (DIN)(a) | Japan (JIS)(b) | Great Britain (B.S.)(c) | France (AFNOR)(d) | Sweden (SS ₁₄) |
|-------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| Low-carbon mold steels (ASTM A 681) | | | | | |
| P2 | ... | ... | ... | ... | ... |
| P3 | 1.5713 | ... | ... | 2881 Y10NC6 | ... |
| P4 | 1.2341 | ... | ... | ... | (USA P4) |
| P5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| P6 | 1.2735, 1.2745 | G4410 SKC31 | ... | 2882 10NC12 | ... |
| P20 | 1.2311, 1.2328, 1.2330 | ... | 4659 (USA P20) | A35–590 2333 35CMD7 | (USA P20) |
| P21 | ... | ... | ... | ... | ... |

Tratamientos térmicos Típico del grupo P

Normalización y templeadura de las temperaturas del grupo P

| Type | Normalizing(a) | | Annealing(b) | | | | Hardness, HB |
|-------------|------------------|------|---------------|---------------|-----------------------------|------|-----------------|
| | | | Temperature | | Rate of cooling, maximum | | |
| | °C | °F | °C | °F | °C/h | °F/h | |
| Mold steels | | | | | | | |
| P2 | Not required | | 730–815 | 1350–1500 | 22 | 40 | 103–123 |
| P3 | Not required | | 730–815 | 1350–1500 | 22 | 40 | 109–137 |
| P4 | Do not normalize | | 870–900 | 1600–1650 | 14 | 25 | 116–128 |
| P5 | Not required | | 845–870 | 1550–1600 | 22 | 40 | 105–116 |
| P6 | Not required | | 845 | 1550 | 8 | 15 | 183–217 |
| P20 | 900 | 1650 | 760–790 | 1400–1450 | 22 | 40 | 149–179 |
| P21 | 900 | 1650 | Do not anneal | Do not anneal | | | |

Endurecimiento y atenuación del grupo P

| Type | Rate of heating | Hardening | | | | | Quenching medium(a) | Tempering temperature | | |
|-------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|--|
| | | Preheat temperature | | Hardening temperature | | Time at temperature, min | | °C | °F | |
| | | °C | °F | °C | °F | | | | | |
| Mold steels | | | | | | | | | | |
| P2 | ... | 900–925(g) | 1650–1750(g) | 830–845(h) | 1525–1550(h) | 15 | O | 175–260 | 350–500 | |
| P3 | ... | 900–925(g) | 1650–1700(g) | 800–830(h) | 1475–1525(h) | 15 | O | 175–260 | 350–500 | |
| P4 | ... | 970–995(g) | 1775–1825(g) | 970–995(h) | 1775–1825(h) | 15 | A | 175–480 | 350–900 | |
| P5 | ... | 900–925(g) | 1650–1700(g) | 845–870(h) | 1550–1600(h) | 15 | O or W | 175–260 | 350–500 | |
| P6 | ... | 900–925(g) | 1650–1700(g) | 790–815(h) | 1450–1500(h) | 15 | A or O | 175–230 | 350–450 | |
| P20 | ... | 870–900(h) | 1600–1650(h) | 815–870 | 1500–1600 | 15 | O | 480–595(i) | 900–1100(j) | |
| P21(j) | Slowly | Do not preheat | | 705–730 | 1300–1350 | 60–180 | A or O | 510–550 | 950–1025 | |

Tratamiento y características del grupo P

| AISI designation | Resistance to decarburization | Hardening and tempering | | | | Fabrication and service | | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | | Hardening response | Amount of distortion(a) | Resistance to cracking | Approximate hardness(b), HRC | Machinability | Toughness | Resistance to softening | Resistance to wear |
| Low-Carbon mold steels | | | | | | | | | |
| P2 | High | Medium | Low | High | 58–64(c) | Medium to high | High | Low | Medium |
| P3 | High | Medium | Low | High | 58–64(c) | Medium | High | Low | Medium |
| P4 | High | High | Very low | High | 58–64(c) | Low to medium | High | Medium | High |
| P5 | High | ... | O, low; W, high | High | 58–64(c) | Medium | High | Low | Medium |
| P6 | High | ... | A, very low; O, low | High | 58–61(c) | Medium | High | Low | Medium |
| P20 | High | Medium | Low | High | 28–37 | Medium to high | High | Low | Low to medium |
| P21 | High | Deep | Lowest | Highest | 30–40(d) | Medium | Medium | Medium | Medium |

Propiedades del grupo P

Densidad y expansión térmica del grupo P

| Type | Density | | Thermal expansion | | | | | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------|-----|
| | | | μm/m · K from 20 °C to | | | | | μin./in. · °F from 70 °F to | | | | |
| | g/cm ³ | lb/in. ³ | 100 °C | 200 °C | 425 °C | 540 °C | 650 °C | 200 °F | 400 °F | 800 °F | 1000 °F | |
| P2 | 7.86 | 0.284 | ... | ... | 13.7 | ... | ... | ... | ... | 7.6 | ... | ... |
| P5 | 7.80 | 0.282 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| P6 | 7.85 | 0.284 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| P20 | 7.85 | 0.284 | ... | ... | 12.8 | 13.7 | 14.2 | ... | ... | 7.1 | 7.6 | 7.9 |

Propiedades generales del grupo P

| AISI designation | Major factors(a) | | | Minor factors | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|
| | Wear resistance(b) | Toughness(c) | Hot hardness | Usual working hardness, HRC | Depth of hardening(d) | Finest grain size at full hardness, Shepherd standard | As-quenched surface hardness, HRC | Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC |
| For hubbed and/or carburized cavities | | | | | | | | |
| P2 | 1(e) | 9 | 2(e) | 58–64(e) | S | ... | 62–65(a) | 15–21 |
| P3 | 1(e) | 9 | 2(e) | 58–64(e) | S | ... | 62–64(a) | 15–21 |
| P4 | 1(e) | 9 | 4(e) | 58–64(e) | M | ... | 62–65(a) | 33–35 |
| P5 | 1(e) | 9 | 2(e) | 50–64(e) | S | ... | 62–65(a) | 20–25 |
| P6 | 1(e) | 9 | 3(e) | 58–61(e) | M | ... | 60–62(a) | 35–37 |
| For machined cavities | | | | | | | | |
| P20 | 1(e) | 8 | 2(e) | 30–50 | M | 7 ¹ / ₂ | 52–54 | 45–50 |
| P21 | 1 | 8 | 4 | 36–39(e) | D | ... | 22–26 | 22–26 |

(a) Rating range from 1 (low) to 9 (high). (b) Wear resistance increases with increasing carbon content. (c) Toughness decreases with increasing carbon content and depth of hardening. (d) S. shallow; M. medium; and D. deep. (e) After carburizing. Source:

4. PROPIEDADES ACEROS DE HERRAMIENTAS

4.1. Elección de los aceros de herramientas

En la mayoría de los casos nos encontramos con que son varios los tipos e incluso las familias de aceros que nos resolverían satisfactoriamente un determinado problema de herramientas, lo que hace que la selección se base en otros factores, tales como productividad prevista, facilidad de fabricación y costo. En última instancia es el costo de las herramientas por unidad de producto fabricado el que determina la selección de un determinado acero. Los aceros de herramientas, además de utilizarse para la fabricación de elementos de máquinas, se emplean para la fabricación de útiles destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por arranque de viruta, cortadura, conformado, embutición, extrusión, laminación y choque. De todo lo dicho se deduce que, en la mayoría de los casos, la dureza, tenacidad, resistencia al desgaste y dureza en caliente constituyen los factores más importantes a considerar en la elección de los aceros de herramientas. No obstante, en cada caso en particular hay que considerar también otros muchos factores, tales como la deformación máxima que puede admitirse en la herramienta; la descarburización superficial tolerable; la templabilidad o penetración de la dureza que se puede obtener; las condiciones en que tiene que efectuarse el tratamiento térmico, así como las temperaturas, atmósferas e instalaciones que requiere dicho tratamiento; y, finalmente, la maquinabilidad.



4.2. Comparativa de las propiedades de algunos aceros de herramientas de la norma AISI

| TIPO DE ACERO | ENDURECIMIENTO °F | MEDIO DE TEMPLE | INTERVALO DE REVENIDO, °F | DUREZA ROCKWELL C APROXIMADA† | TEMPLABILIDAD |
|---------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------|
| W1 | 1 400-1 550 | Salmuera o agua | 300-650 | 65-50 | Superficial |
| W2 | 1 400-1 550 | Salmuera o agua | 300-650 | 65-50 | Superficial |
| S1 | 1 650-1 800 | Aceite | 400-1 200 | 58-40 | Media |
| S5 | 1 600-1 700 | Aceite | 350-800 | 60-50 | Media |
| O1 | 1 450-1 500 | Aceite | 300-500 | 62-57 | Media |
| A2 | 1 700-1 800 | Aire | 350-1 000 | 62-57 | Profunda |
| A4 | 1 500-1 600 | Aire | 350-800 | 62-54 | Profunda |
| D2 | 1 800-1 975 | Aire | 400-1 000 | 61-54 | Profunda |
| D3 | 1 700-1 800 | Aceite | 400-1 000 | 61-54 | Profunda |
| D4 | 1 775-1 850 | Aire | 400-1 000 | 61-54 | Profunda |
| H11 | 1 825-1 875 | Aire | 1 000-1 200 | 54-38 | Profunda |
| H19 | 2 000-2 200 | Aire o aceite | 1 000-1 300 | 59-40 | Profunda |
| H21 | 2 000-2 200 | Aire o aceite | 1 100-1 250 | 54-36 | Profunda |
| H23 | 2 200-2 350 | Aire o aceite | 1 200-1 500 | 47-30 | Profunda |
| H26 | 2 150-2 300 | Sal, aceite o aire | 1 050-1 250 | 58-43 | Profunda |
| H41 | 2 000-2 175 | Sal, aceite o aire | 1 050-1 200 | 60-50 | Profunda |
| T1 | 2 300-2 375 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 65-60 | Profunda |
| T4 | 2 300-2 375 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 66-62 | Profunda |
| T6 | 2 325-2 400 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 65-60 | Profunda |
| M1 | 2 150-2 225 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 65-60 | Profunda |
| M2 | 2 175-2 250 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 65-60 | Profunda |
| M6 | 2 150-2 200 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 66-61 | Profunda |
| M41 | 2 175-2 220 | Aceite, aire o sal | 1 000-1 100 | 70-65 | Profunda |
| L2 | 1 450-1 550 1 550-1 700 | Agua Aceite | 350-1 000 | 63-45 | Media |
| L6 | 1 475-1 550 | Aceite | 350-1 000 | 62-45 | Media |
| F2 | 1 450-1 600 | Agua o salmuera | 300-500 | 66-62 | Superficial |
| P2 | 1 525-1 550‡ | Aceite | 300-500 | 64-58§ | Superficial |
| P20 | 1 500-1 600 | Aceite | 900-1 100 | 37-28 | Superficial |

| TIPO DE ACERO | PROPIEDADES DE NO DEFORMACIÓN | SEGURIDAD EN EL ENDURECIMIENTO | TENACIDAD | ENDURECIMIENTO AL ROJO | RESISTENCIA AL DESGASTE | MAQUINABILIDAD | RESISTENCIA A LA DESCARBURIZACIÓN |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| W1 | Deficientes | Regular | Buena | Deficiente | Regular a buena | Óptima | Óptima |
| W2 | Deficientes | Regular | Buena | Deficiente | Regular a buena | Óptima | Óptima |
| S1 | Regulares | Buena | Muy buena | Regular | Regular | Regular | Regular a buena |
| S5 | Regulares | Buena | Óptima | Regular | Regular | Regular | Deficiente |
| O1 | Muy buenas | Muy buena | Regular | Deficiente | Buena | Buena | Buena |
| A2 | Óptimas | Óptima | Regular | Regular | Muy buena | Regular | Regular |
| A4 | Óptimas | Óptima | Regular | Regular | Buena | Regular a deficiente | Buena a regular |
| D2 | Óptimas | Óptima | Deficiente | Buena | Óptima | Deficiente | Regular |
| D3 | Muy buenas | Buena | Deficiente | Buena | Óptima | Deficiente | Regular |
| D4 | Óptimas | Óptima | Deficiente | Buena | Óptima | Deficiente | Regular |
| H11 | Muy buenas | Óptima | Buena | Buena | Regular | Regular | Regular |
| H19 | Buenas | Buena | Buena | Buena | Regular | Regular | Regular |
| H21 | Aire: buenas | Buena | Buena | Buena | Regular a buena | Regular | Regular |
| H23 | Aceite: regulares | | | | | | |
| | Aire: buenas | Buena | Regular | Muy buena | Regular a buena | Regular | Regular |
| H26 | Aceite: regulares | | | | | | |
| | Sal y aire: buenas | Buena | Regular | Muy buena | Buena | Regular | Regular |
| H41 | Aceite: regulares | | | | | | |
| | Sal y aire: buenas | Regular | Deficiente | Muy buena | Buena | Regular | Deficiente |
| T1 | Aceite: regulares | | | | | | |
| | Buenas | Buena | Deficiente | Muy buena | Muy buena | Regular | Buena |
| T4 | Buenas | Regular | Deficiente | Óptima | Muy buena | Regular | Regular |
| T6 | Buenas | Regular | Deficiente | Óptima | Muy buena | Regular | Deficiente |
| M1 | Buenas | Regular | Deficiente | Muy buena | Muy buena | Regular | Deficiente |
| M2 | Buenas | Regular | Deficiente | Muy buena | Muy buena | Regular | Regular |
| M6 | Buenas | Regular | Deficiente | Muy buena | Muy buena | Regular | Deficiente |
| M41 | Buenas | Regular | Deficiente | Muy buena | Muy buena | Regular | Deficiente |
| L2 | Agua: deficientes | Agua: deficiente | Muy buena | Deficiente | Buena | Buena | Buena |
| L6 | Aceite: regulares | Aceite: regular | | | | | |
| | Buenas | Buena | Muy buena | Deficiente | Buena | Regular | Buena |
| F2 | Deficientes | Deficiente | Deficiente | Deficiente | Muy buena | Regular | Buena |
| P2 | Buenas | Buena | Buena | Deficiente | Regular | Regular | Buena |
| P20 | Buenas | Buena | Buena | Deficiente | Regular | Buena | Buena |

4.3. Penetración del temple

La mayor o menor penetración del temple es función de la templabilidad de cada clase de acero en particular.

Los aceros de temple superficial, entre los que se encuentran los aceros de herramientas al carbono (grupo W), los aceros al tungsteno (grupo F) y varios de los aceros de cementación del grupo P, se templean por lo general en agua. La templabilidad de los aceros aumenta con el contenido en elementos de aleación, excepto en el caso del cobalto, el cual es único elemento que la hace disminuir. Para que en una sección grande la tenacidad tenga en toda ella un valor elevado, conviene elegir un acero de alta aleación.

4.4. Tenacidad

En el caso de los aceros de herramientas, el término tenacidad se refiere más a la capacidad de sufrir golpes sin rotura que a la facultad de absorber energía durante la deformación. La mayor parte de las herramientas tienen que ser piezas rígidas, y por lo general cualquier deformación que presenten, por pequeña que sea, las hace inservibles. Los aceros de herramientas con contenidos en carbono medios y bajos, pertenecientes a los grupos S y H, son los que presentan mejor tenacidad y constituyen el material utilizado en la fabricación de herramientas resistentes al choque.

4.5. Dureza en caliente

Esta propiedad expresa la resistencia que presenta el acero al ablandamiento a temperaturas elevadas, y viene reflejada, en cierto modo, por la resistencia que ofrece el material al revenido, la cual constituye un factor importante a considerar en la elección de los aceros de herramientas que trabajen a más de 500°C es fundamental que posean aleación, formadores de carburos duros y estables, mejora generalmente la resistencia la ablandamiento a temperaturas elevadas, destacando en este sentido los aceros que contienen grandes cantidades de tungsteno, cromo y molibdeno.

4.6. Resistencia a la descarburación

Ya que ésta determina la instalación a utilizar en el tratamiento térmico, y la cantidad de material que es necesario quitar de la superficie después del temple. La descarburación tiene lugar normalmente cuando los aceros se calientan a temperaturas superiores a 704°C t salvo que el material se proteja en el calentamiento por algún procedimiento, como, por ejemplo, mediante la utilización de una atmósfera protectora, es probable que

la superficie del acero pierda algo de carbono. Esta descarburación es la causa de que en el temple la superficie no se endurezca, sino que quede blanda.

Los aceros de herramientas al carbono son los que menos se descarburan. Los aceros para la fabricación de herramientas para trabajos de choque presentan una resistencia a la descarburación baja; los utilizados en las herramientas para trabajos en caliente se consideran que tienen una resistencia mediana, y

la mayoría de los restantes aceros de herramientas ofrecen una resistencia a la descarburación buena.

4.7. Maquinabilidad

Esta propiedad indica la mayor o menor facilidad que presenta el material a su mecanización y a la obtención de un acabado perfecto. Los factores que influyen en la maquinabilidad de los aceros de herramientas son la dureza en estado de recocido, la microestructura del acero y la cantidad de carburos presentes.

En comparación con los aceros aleados normales, los aceros de herramientas son mucho más difíciles de mecanizar. El acero de herramienta que presenta mejor maquinabilidad (el tipo W) tiene un índice aproximadamente igual al 30%, por lo tanto como referencia para comparar la maquinabilidad de los distintos aceros de herramientas se toma W, a los que se asigna arbitrariamente el índice 100 (Tabla II). La maquinabilidad y facilidad de trabajo de los aceros de herramientas disminuye al aumentar el contenido de carbón y elementos de aleados. Conforme aumenta el contenido en carbono y elementos de aleación en los

aceros, carbono en combinación con elementos que tienen gran tendencia a formar carburos, como el vanadio, el tungsteno, el cromo y el molibdeno, reduce la maquinabilidad al formarse gran número de partículas duras de carburo, que no se disuelven en el recocido.

TABLA 10.3 Clasificaciones de maquinabilidad de aceros para herramienta*
Grados de endurecimiento en agua clasificados sobre 100

| GRUPO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS | CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINABILIDAD |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| W | 100 |
| S | 85 |
| O | 90 |
| A | 85 |
| D | 40-50 |
| H (Cr) | 75 |
| H (W o Mo) | 50-60 |
| T | 40-55 |
| M | 45 |
| M | 45-60 |
| L | 90 |
| F | 75 |
| P | 75-100 |

* Tomada del libro *Metals handbook*, 8a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961.

4.8. Dureza respecto de la temperatura

La dureza respecto a la temperatura, disminuye a mayor temperatura y dependiendo de la composición y tipos de acero de herramienta reduce significadamente. Los aceros que menos se ven afectados por las temperaturas de los aceros de herramientas vienen a ser los aceros rápidos, ya que presentan una dureza en caliente excelentes e inderformabilidad

La capacidad de un acero de herramientas para oponerse al ablandamiento en temperaturas elevadas es también relacionada con su capacidad de desarrollar el endurecimiento secundario

por la suma de fases especiales, como el exceso de carburos, en la microestructura.

| AISI designation | Hardness, HRC | | | | |
|------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | Room temperature | Hot hardness(a) | | | |
| | | 315 °C (600 °F) | 425 °C (800 °F) | 540 °C (1000 °F) | 650 °C (1200 °F) |
| High-speed tool steels | | | | | |
| M1 | 65 | 61 | 58 | 54 | 32 |
| M2 | 65 | 62 | 59 | 55 | 36 |
| M3, class 1 | 65 | 63 | 60 | 56 | 36 |
| M3, class 2 | 65 | 63 | 60 | 56 | 36 |
| M4 | 66 | 63 | 60 | 56 | 37 |
| M7 | 65 | 61 | 58 | 54 | 35 |
| M10 | 65 | 60 | 57 | 52 | 33 |
| M30 | 65 | 63 | 58 | 55 | 35 |
| M33 | 65 | 64 | 60 | 57 | 40 |
| M36 | 65 | 64 | 60 | 57 | 40 |
| M42 | 68 | 66 | 65 | 62 | 44 |
| M50 | 64 | 59 | 57 | 52 | ... |
| M52 | 64 | 60 | 57 | 53 | ... |
| | | | | | |
| T1 | 65 | 61 | 57 | 53 | 33 |
| T4 | 65 | 61 | 59 | 55 | 38 |
| T5 | 66 | 62 | 60 | 56 | 40 |
| T15 | 68 | 64 | 61 | 57 | 42 |
| Cold-work die steels | | | | | |
| A2 | 60 | 52 | 46 | 35 | ... |
| A8 | 58 | 55 | 52 | 45 | ... |
| D2 | 60 | 53 | 47 | 38 | ... |
| D4 | 62 | 52 | 46 | 37 | ... |
| Hot-work die steels | | | | | |
| A8 | 58 | 55 | 52 | 45 | ... |
| H11 | 54 | 49 | 47 | 42 | 22 |
| H12 | 54 | 49 | 47 | 42 | 22 |
| H13 | 55 | 49 | 47 | 42 | 22 |
| H19 | 54 | 51 | 47 | 42 | 31 |
| H21 | 54 | 52 | 49 | 45 | 29 |
| H23 | 41 | 32 | 30 | 28 | 25 |
| H26 | 58 | 54 | 50 | 46 | 31 |

4.9. Rotura de las herramientas

Estas son, en general, las condiciones donde normalmente un acero de herramienta se ve sometido:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| * Desgaste (70%) | * Fatiga térmica (3%) |
| * Fatiga mecánica (22%) | * Deformación plástica (5%) |

Causas a tener en cuenta de una posible rotura de las herramientas:

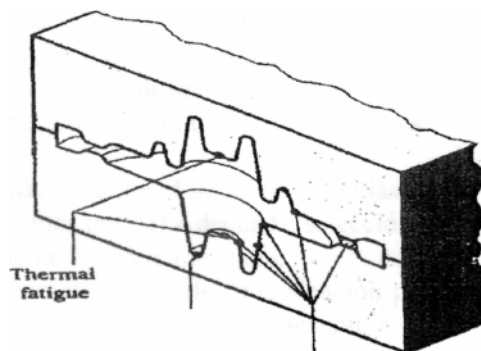
-Proyecto defectuoso de la herramienta: La forma de la herramienta puede ser causa de su rotura bien en el tratamiento térmico o una vez en servicio. Cuando una herramienta tenga que templarse en un medio refrigerante líquido hay que evitar que la pieza presente cambios bruscos de sección.

-Mala calidad del acero: Pese al cuidadoso control que se ejerce durante la fabricación del acero y a la inspección a que se le somete, de vez en cuando pueden aparecer defectos en el acero. Estos pueden ser zonas porosas debidas a la contracción que tiene lugar durante la solidificación del lingote y que se conocen como venteaduras o sopladura, o bien sojas o pliegues debidas a la segregación o inclusiones no metálicas.

-Tratamiento térmico defectuoso: Este factor es causa de gran parte de los fracasos de las herramientas. Las herramientas tienen que manejarse con todo género de precauciones durante el temple y después de él.

-Defectos debidos al rectificado: El rectificado de la superficie de una herramienta templada puede dar origen a la creación de tensiones muy elevadas, cuya magnitud puede ser suficiente para que se formen grietas.

-Roturas debidas a sobrecargas mecánicas y al proceso de trabajo: Entre los factores mecánicos que pueden originar la rotura de las herramientas se encuentran las sobrecargas, las cuales pueden ser accidentales o estar motivadas por una concentración excesiva de tensiones, o por una alineación o ángulo de incidencia de la herramienta inadecuada.



4.10. Elementos de aleación

Las propiedades de los aceros de herramientas se consiguen mediante la adición de elementos de aleación, el procesado adecuado y un correcto tratamiento de temple y revenido.

Por tanto en este apartado explicaremos la influencia de los elementos de aleación en los aceros de herramientas.

-Níquel: aumenta la resistencia a la tracción sin disminuir la ductilidad, aumenta la resistencia a la oxidación.

-Cromo: Forma carburos muy duros y comunica al mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidable y refractarios.

-Níquel y Cromo: elevada resistencia y dureza como resistencia a la oxidación Para engranajes, ejes, cigüeñales, bielas, se emplean para fabricar aceros inoxidables de varios tipos.

-Silicio: se considera aleante cuando esta en contenidos superiores a los normales,
Para resortes hasta 1,5 %; chapas de motores eléctricos 5 %.

-Manganeso: Se utiliza fundamentalmente como desoxidante y desulfurante de los aceros.

-Aluminio: como desoxidante y afinador del grano metálico.

-Molibdeno: mejora la resistencia a la tracción pero se utiliza para mejorar la templabilidad.

-Vanadio: se agrega para que la estructura del grano sea fina. aceros para resortes y herramientas.

-Tungsteno: Forma con el hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas y es un endurecedor para aceros de herramientas.

-Cobalto: Se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.

-Titanio: es desoxidante y afinador del grano, evita la corrosión en los aceros inoxidables.

-Boro: extraordinaria eficacia para aumentar la templabilidad 0.001

-Azufre: Se encuentra en los aceros como impureza, se toleran porcentajes hasta un 0.05 %, en caliente produce una gran fragilidad del acero, sus efectos perjudiciales pueden neutralizarse en parte con la adición del manganeso, que se combina con él formando sulfuro de manganeso. A veces se adiciona en proporciones de 0.1 a 0.3 % con un contenido mínimo de manganeso de 0.6 %, dando lugar a aceros llamados de fácil mecanización, que tienen menor resistencia, pero pueden ser trabajados con velocidades de corte doble que un acero corriente.

-Plomo: El plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0.15 y 0.30 % debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0.5 % debido a que dificulta el templeado y disminuye la tenacidad en caliente.

-Silicio: Se emplea como desoxidante en la obtención de los aceros, además les proporciona elasticidad. Si la proporción es elevada (1 a 5%) los aceros tienen buenas características magnéticas.

Efecto de los elementos de aleación en las propiedades del acero

| Elemento de aleación | Propiedades mecánicas | | | | | | | | Propiedades de los aceros poco magnéticos | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|------------|-------------|------------------|-------------|--------------------|---|--------------------|-----------------------------------|--------------|----------------|------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|------------|-----------------|
| | Dureza | Resistencia | Límite elástico | Elongación | Estricción | Valor de impacto | Elasticidad | Estab. Alta. Temp. | Velocidad enfriamiento | Formación carburos | Resist. desgaste | Forjabilidad | Maquinabilidad | Escamación | Nitrurabilidad | Resist. Corrosión | Ciclo de histéresis | Permeabilidad máxima | Fuerza coercitiva | Remanencia | Pérdida de watt |
| Silicio | ↑ | ↑ | ↑↑ | ↓ | ~ | ↓ | ↑↑↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓↓↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | — | ↓↓ | ↑↑ | ↓↓ | | ↓↓↓ |
| Manganeso en aceros perlíticos | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ~ | ↑ | ~ | ↓ | ~ | ↓↓ | ↑ | ↓ | ~ | ~ | — | | | | | |
| Manganeso en aceros austeníticos | ↓↓↓ | ↑ | ↓ | ↑↑↑ | ~ | — | — | — | ↓↓ | — | — | ↓↓↓ | ↓↓↓ | ↓↓ | — | — | | ↓ | ↑ | | ↑ |
| Cromo | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | ↓↓↓ | ↑↑ | ↑ | ↓ | — | ↓↓↓ | ↑↑ | ↑↑↑ | ↓ | ↑ | ↓ | | ↓ |
| Níquel en aceros perlíticos | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ~ | — | ↑ | ↓↓ | — | ↓↓ | ↓ | ↓ | ↓ | — | — | | | | | |
| Níquel en aceros austeníticos Cr - Ni | ↓↓ | ↑ | ↓ | ↑↑↑ | ↑↑ | ↑↑↑ | — | ↑↑↑ | ↓↓ | — | — | ↓↓↓ | ↓↓↓ | ↓↓ | — | ↑↑ | | | | | |
| Aluminio | — | — | — | — | ↓ | ↓ | — | — | — | — | — | ↓↓ | — | ↓↓ | ↑↑↑ | — | ↓↓ | ↑↑ | ↓↓ | | ↓↓↓ |
| Tungsteno | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ~ | — | ↑↑↑ | ↓↓ | ↑↑ | ↑↑↑ | ↓↓ | ↓↓ | ↓↓ | ↑ | — | | | | | |
| Vanadio | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ↑ | ↑ | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑↑↑ | ↑↑ | ↑ | — | ↓ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ~ | | ~ |
| Cobalto | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | — | ↑↑ | ↑↑ | — | ↑↑↑ | ↓ | ~ | ↓ | — | — | | | | | |
| Molibdeno | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | — | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↓ | ↑↑ | ↑↑ | — | ~ | ~ | ~ | | ↓ |
| Cobre | ↑ | ↑ | ↑↑ | ~ | ~ | ~ | — | ↑↑ | — | — | — | ↓↓↓ | ~ | ~ | — | ↑ | ↑ | ↓ | ↑ | | ↑ |
| Azufre | — | — | — | ↓ | ↓ | ↓ | — | ↑ | — | — | — | ↓↓↓ | ↑↑↑ | — | — | ↓ | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑↑ | | ↑↑ |
| Fósforo | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓↓↓ | — | — | — | — | — | ↓ | ↑↑ | — | — | — | — | — | | | — |
| Carbono | ↑↑↑ | ↑↑↑ | ↑↑↑ | ↓ | ~ | ↓ | ↓ | ↓ | | | | | ↓ | ↓ | | ~ | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑↑ | | ↑↑ |
| Varias flechas = Efecto severo | ↑ | Incremento | | | ↓ Reducción | | | ~ Constante | | | — No característico o desconocido | | | | | | | | | | |

5. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

5.1. Introducción

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,03 y 2%. Se suele componer de otros elementos, ya inmersos en el material del que se obtienen. Pero se le pueden añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura características, sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita.

En el caso de los aceros de herramientas, a excepción de los aceros rápido, a están sujetas a las mismas características en los tratamientos térmicos que el resto de los aceros, aunque los aceros de herramientas requieran de unas prestación y requerimientos mayores, por lo que trataremos este tema de forma general sin especificar en los aceros de herramientas.

Salvo en casos muy específicos, todos los aceros de herramientas deben ser tratados térmicamente para conseguir que los útiles posean una aceptable tenacidad con una determinada dureza y resistencia al desgaste, una vez que haya sido escogido el nivel de prestaciones que pueda aportar a la aplicación para la que van destinados. En la mayoría de estos aceros estas propiedades óptimas de utilización se consiguen con un tratamiento de temple y revenido.

A los útiles y componentes de coste relativamente elevado, de sustitución onerosa o de alta responsabilidad, pueden realizárseles distintos tratamientos adicionales al tratamiento clásico de temple y revenido para, principalmente, aumentar la vida del útil en determinadas condiciones de trabajo.

5.2. Generalidades

En principio, los únicos tratamientos que se utilizaban eran los tratamientos térmicos, el objeto de estos era mejorar las propiedades mecánicas de los metales, obteniendo algunas veces mayor dureza y resistencia mecánica, y otra mayor plasticidad para facilitar su conformación. Por inducción se extendió más tarde la denominación de tratamientos a otros procesos, como la segmentación, cianuración etc.

5.3. Definición

Los tratamientos térmicos son operaciones de calentamiento y enfriamiento a temperaturas y en condiciones determinadas a que se someten los aceros para conseguir las propiedades y características más adecuadas a su empleo o transformación. No modifican la composición química pero sí otros factores tales como los constituyentes estructurales y como consecuencia las propiedades mecánicas.

5.4. Características

Una característica fundamental de los tratamientos térmicos es que estos son realizados al acero, y su meta principal es trabajarlo de manera óptima para lograr tener materia prima y productos terminados con el fin de lograr un desarrollo en determinadas industrias.

5.5. Tipos de tratamientos

Los principales tratamiento térmicos aplicable en el acero son:

- Temple
- Revenido
- Recocido
- Cementación
- Nitruración
- Carbo nitruración

Un tratamiento de temple seguido de un revenido, se denomina corrientemente bonificación.

Más adelante se definirá otro tipo de tratamiento para aceros para herramientas a través de la aplicación de tratamiento criogénico.

5.6. Desarrollo de los tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos se desarrollan en tres fases:

5.6.1. Calentamiento hasta la temperatura máxima

De cuanto queda expuesto que para el buen éxito del temple es necesario conocer la temperatura a la que, durante el enfriamiento se inicia la formación austenítica para escoger en base de ella el enfriamiento mas adecuado.

Esta temperatura se representa generalmente por M_s y depende esencialmente de la composición del acero. En los aceros al carbono es inversamente proporcional al contenido del mismo.

A titulo orientativo se puede considerar:

- Para aceros hipoeutectoides: $C \geq 0.10\%$ $M_s \approx 500^\circ\text{C}$
- Para aceros eutectoides: $C = 0.87\%$ $M_s \approx 220^\circ\text{C}$.
- Para aceros hipereutectoide: $C > 0.87\%$ $M_s \leq 150^\circ\text{C}$

El fenómeno se puede explicar en líneas generales, considerando la cantidad de Fe_3C contenida en la austenita, es decir la concentración de carbono en el hierro.

5.6.2. Permanencia a la temperatura máxima

Para conseguir un buen temple es necesario calentar el acero y mantenerlo durante un cierto tiempo, a una temperatura tal que provoque la austenización completa de la estructura. En consecuencia, la temperatura de calentamiento depende del contenido de carbono.

- Para los aceros hipoeutectoide, es superior al punto crítico A_{c3} .
- Para los aceros hipereutectoide, es superior al punto crítico A_{c1} .

En general, esta temperatura la señala el proveedor, y normalmente de unos 40°C a 50°C por encima del punto crítico.

Una temperatura demasiado alta engrosa demasiado el grano austenítico, aumentando la fragilidad y las tensiones internas en la pieza templada.

En la siguiente tabla se indica, a titulo orientativo las temperaturas de austenización de algunos aceros al carbono,

Porcentaje de carbono: 0,4 – 0,5 – 0,8 – 1,2

Temperatura de austenización respectivamente $^\circ\text{C}$: 850 – 820
780 – 770.

5.6.3. Enfriamiento desde la temperatura máxima hasta la temperatura ambiente

Los sistemas de enfriamiento utilizados para los tratamientos térmicos se eligen tomando en cuenta tres parámetros: Composición del metal a tratar, dimensiones de la pieza y propiedades a obtener.

5.6.4. Desarrollo de los tratamientos en los aceros rápidos

Las temperaturas de los tratamientos térmicos de los aceros rápidos son bastante más elevadas que las de los aceros al carbono.

Además los calentamientos de los aceros rápidos deben hacerse más lentamente, aproximadamente a la mitad de velocidad que para los aceros al carbono, pues la transmisión del calor a través de la masa de acero se hace más difícilmente. También la permanencia a las temperaturas límites debe ser más prolongada. Los calentamientos de forja y temple que deben llegar a temperaturas superiores a los 1000° C, se aconseja realizarlos en dos fases: una en la que se lleva la temperatura a 800° C y se uniformiza la temperatura, y otra en la que se lleva la pieza a la temperatura final de tratamiento.

De esta forma se minimiza el tiempo que la pieza tiene que estar a muy alta temperatura, evitando así problemas de quemado y de crecimiento anormal del grano.

5.7. Hornos utilizados para los tratamientos térmicos

El horno es el elemento principal de los tratamientos térmicos es un instrumento constituido por una caja susceptible de calentamiento y que permite el control y la regulación del tiempo, de la temperatura, de la atmósfera, y de las velocidades de calentamiento y de enfriamiento.

Tipos de hornos

- Calentamiento: Eléctrico (por resistencia, por inducción), a Gas, a fuel Oil.
- Según la atmósfera reinante en el horno: Vacío, Neutra (Argon, Helio, Nitrógeno), Reductora (Exogas, Endoga, Amoniaco Disociado, Hidrogeno de atmósfera sintética).
- Según la Solera: Discontinua, Continua, (Horizontal, Vertical).

Todos nuestros hornos se caracterizan por su adecuación o adaptación a la aplicación concreta exigida. Dicha exigencia se refiere siempre a aspectos de:

- a) Comodidad y funcionalidad operativa.
- b) Dimensionado de la cámara de tratamiento particularizando en función del tipo de piezas a tratar.
- c) Fabricación adaptada a las diversas fuentes de energía.

HORNOS PARA TEMPLES / RECOCIDO:

Se diseña para poder alcanzar unas temperatura de trabajo de 1100 °C – 1400 °C, máximas capaces de provocar el cambio necesario de la estructura metalografica del metal a tratar.

En la versión de horno eléctrico se prevé una entrada de gas protector (generalmente nitrógeno) a la cámara de tratamiento con el fin de proteger a las piezas a tratar contra la descarburación.

Cuando se trata de hornos a combustible liquido o gaseoso la regulación del circuito de combustión permite obtener en la cámara de tratamiento una atmósfera oxidante, neutra o reductora.

En este caso los quemadores a instalar son básicamente de dos tipos en función del sistema de aportación del aire necesario para la combustión.

Hornos según el sistema de calentamiento: El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como inconveniente la dificultad del control de la temperatura.

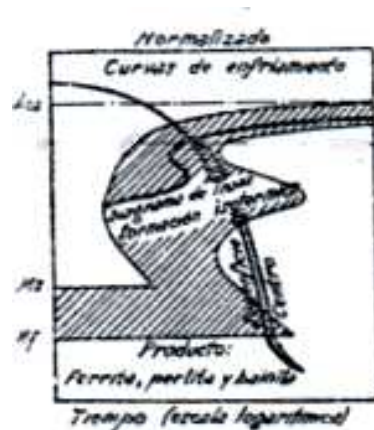
El sistema de resistencia eléctrica que aprovecha el calor generado según la ley Joule. La disposición de la resistencia da nombre a los hornos, que son de tipo mufla o cajas.



5.8. Normalizado

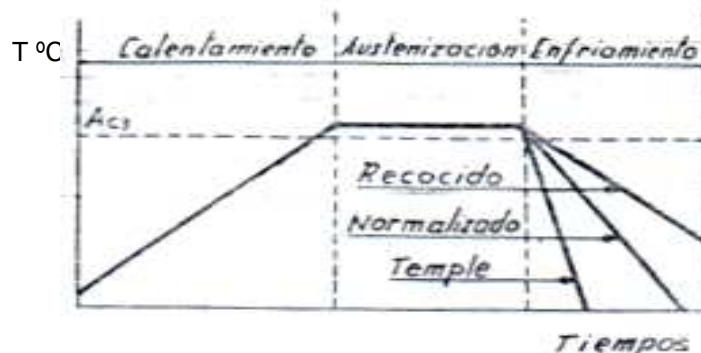
5.8.1. Definición y generalidades

Consiste el normalizado en calentar el acero a una temperatura de 40° a 50° superior a la crítica (A_{c3}), y una vez que haya pasado todo el metal al estado austenítico, se deja enfriar al aire tranquilo



5.8.2. Características

Se diferencia el normalizado, del recocido de regeneración y del temple, en que el enfriamiento es mucho más lento en el recocido (dentro del horno) y mucho más rápido en el temple (en agua, etc.)



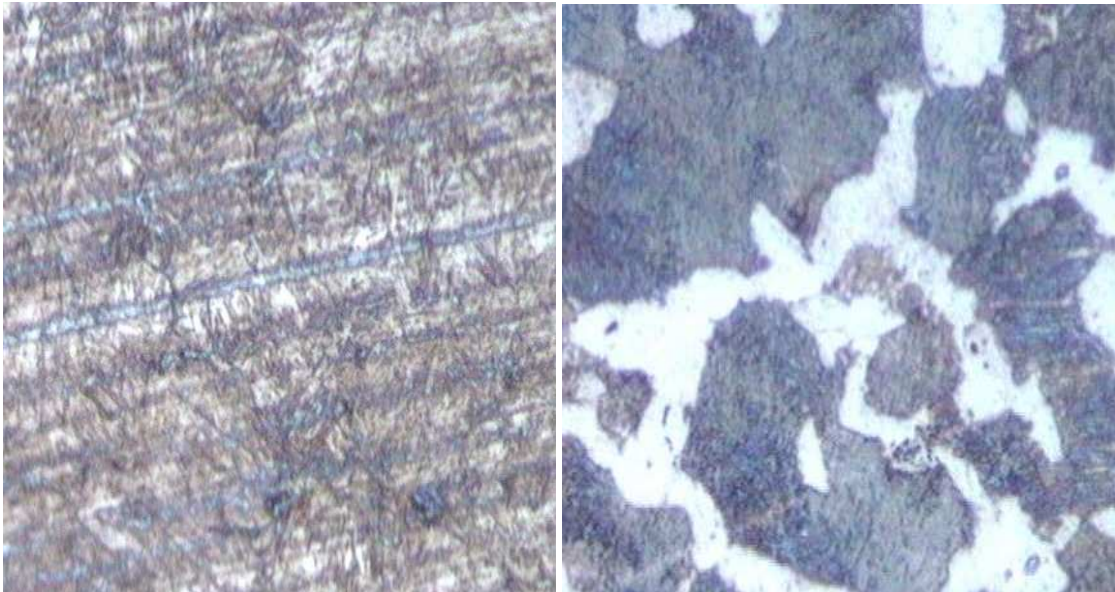
Esquema de los Procesos de Calentamiento y Enfriamiento de los reconocidos de regeneración, normalizado y temple.

El objeto del normalizado es volver el acero al estado que se supone normal, pues de haber sufrido tratamientos defectuosos, o bien después de haber trabajado en caliente o en frío por forja, laminación, etc. Se consigue así afinar su estructura y eliminar tensiones internas.

Se emplea casi exclusivamente para aceros al carbono de baja aleación: 0,15 a 0,50 por ciento de C.

El resultado de ese tratamiento depende del espesor de la pieza, debido a que las velocidades de enfriamiento son mayores en las piezas delgadas que en las piezas gruesas.

Aceros normalizados



NORMALIZADO DE ACERO SOBRECALENTADO

5.8.3. Temperaturas de normalizado y características obtenidas en aceros al carbono de 25 mm de diámetro

| °C | Temperaturas | R Kg/mm ² | E Kg/mm ² | A % | 0 Kg/mm ² |
|------|--------------|-------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|
| 0.15 | 925 | 45 | 27 | 27 | 23 |
| 0.30 | 880 | 58 | 35 | 20 | 16 |
| 0.50 | 840 | 70 | 42 | 16 | 7 |

4.8.4. Enfriamiento del normalizado

El tratamiento térmico de normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20°C por encima de la línea de temperatura crítica superior seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final. Sin embargo, la normalización puede utilizarse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la micro estructura para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento.

El hecho de enfriar más rápidamente el acero hace que la transformación de la austenita y la micro estructura resultante se vean alteradas, ya que como el enfriamiento no se produce en condiciones de equilibrio, el diagrama hierro-carburo de hierro no es aplicable para predecir las proporciones de ferrita y perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Ahora, se tendrá menos tiempo para la formación de la ferrita proeutectoide, en consecuencia, habrá menos cantidad de esta en comparación con los aceros recocidos. Aparte de influir en la cantidad de constituyente proeutectoide que se formará, la mayor rapidez de enfriamiento en la normalización también afectará a la temperatura de transformación de austenita y en la fineza de la perlita. El hecho de que la perlita (que es una mezcla eutectoide de ferrita y cementita) se haga más fina implica que las placas de cementita están más próximas entre sí, lo que tiende a endurecer la ferrita, de modo que esta no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia una proporción de carbono más baja en los aceros hipoeutectoides y más alta en los aceros hipereutectoides. El efecto neto de la normalización es que produce una estructura de perlita más fina y más abundante que la obtenida por el recocido, resultando un acero más duro y más fuerte.

5.9. Recocidos

5.9.1. Definición

El fin principal de los recocidos del acero es ablandar el material para poder trabajarlo mejor. Hay diversas clases de recocidos, que se diferencian en la temperatura máxima a que debe calentarse el acero y en las condiciones y velocidades de enfriamiento. Atendiendo a la temperatura máxima del calentamiento, pueden dividirse en recocidos supercríticos, en los que se calienta el acero a temperaturas superiores a las críticas Ac_3 , o AC , (austenización completa), o a temperaturas sólo superiores a las Ac_3 y A_3 (austenización incompleta), y recocidos subcríticos en los que se calientan a temperaturas inferiores a las temperaturas críticas Ac_1 o Ac_{321} .

Además, se emplean los recocidos denominados isotérmicos de austenización completa con calentamientos superiores a las temperaturas críticas Ac_3 o Ac y los recocidos isotérmicos de austenización incompleta con calentamientos sólo superiores a las temperaturas críticas Ac_1 o Ac_{321} . Estos recocidos se distinguen de todos los anteriores en que se transforma la austenita a una temperatura constante.

5.9.2. Características

El recocido se aplica en los aceros preferiblemente para ablandar el material y poderlo trabajar mejor, es un proceso que ayuda a obtener piezas de mejor y trabajado excelente.

5.9.3. Tipos de recocido, definiciones, generalidades, características y curvas de enfriamiento

- **Recocidos supercríticos**

De austenización Completa o recocido de regeneración

Consiste en calentar por encima de la temperatura crítica para transformar todo el acero en austenita, enfriándolo después de forma lenta hasta 500°C . Posteriormente se deja enfriar al aire. Se obtiene ferrita y perlita o cementita y perlita. Se utiliza en aceros con más del 0.6% de carbono

De austenización incompleta. (Recocido globular de austenización incompleta)

Se calienta a una temperatura intermedia de tal forma que se transforme la cementita en austenita. Se enfría muy lentamente hasta 500°C y se enfría al aire. Se obtiene estructura globular de cementita y ferrita que hace ablandar el material. Se utiliza para aceros bastante carburados y se obtienen aceros aleados para herramientas.

- **Recocidos subcríticos**

Se obtiene calentando el acero a una temperatura algo inferior a la crítica, dejando enfriar la pieza al aire. Se logra ablandar los aceros aleados de gran resistencia, al cromoníquel y cromomolibdeno así como también para los aceros al carbono las temperaturas mas apropiadas están entre 700° y 725°. La ventaja de este tratamiento es que es muy sencillo y rápido y no exige ningún cuidado especial en el enfriamiento

- **Recocido globular**

Consiste en calentar el acero a una temperatura inferior y muy próxima a la crítica inferior AC, o Aca, y enfriarlo después muy lentamente; en este proceso la cementita tiende a adoptar la estructura globular tanto más perfecta cuanto más próxima sea la temperatura máxima del recocido y la crítica inferior AC, Aca. La globalización en este recocido globular es tanto o más rápida cuanto más fina es la estructura inicial

- **Recocido de ablandamiento**

No se produce una transformación total en austenita; se deja enfriar la pieza al aire, y es prácticamente igual que el revenido, se emplea para aceros aleados y se obtiene calentando el acero a una temperatura inferior a la crítica Ac, A32. Dejando después la pieza al aire. Las temperaturas mas apropiadas oscilan entre 700 y 725 c

- **Recocido contra acritud.**

Consiste en un calentamiento a una temperatura de 600 a 700 C, seguido de un enfriamiento al aire o dentro del horno si se quiere evitar la oxidación del acero. En general se aplica este tratamiento para el recocido del fleje, alambre, etc, que se obtiene partiendo de aceros hipoeutectoides, o sea de menos de 0.89 % de carbono y, por tanto, formados por ferrita y perlita. Lo mas es que el acero sea de menos de 0.30 % de carbono y por tanto la mayor parte de la masa esta formada por granos de ferrita, que quedan estirados después del trefilado o laminado

- **Recocido de estabilización**

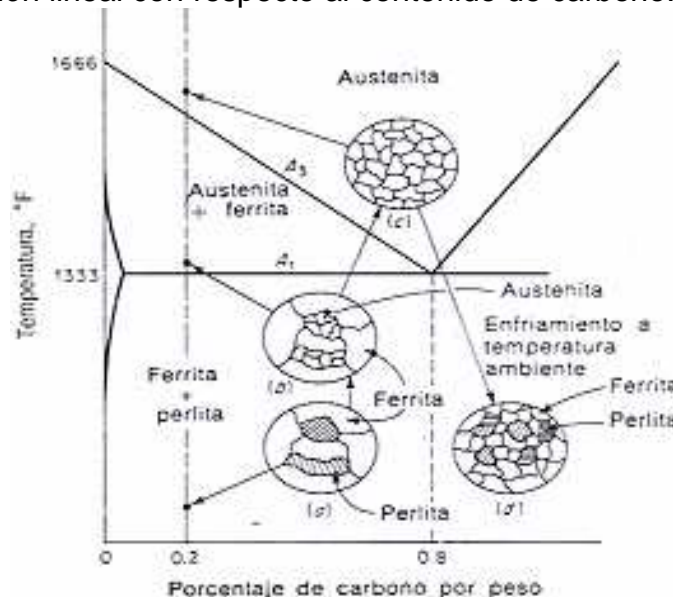
Tiene por objeto eliminar las tensiones internas que quedan frecuentemente en las piezas complicadas después del modelo o después de ser mecanizadas, y que con el tiempo pueden acabar por deformarla. En realidad, con este recocido se logra acelerar la estabilización del material, y de hay su nombre.

5.9.4. Enfriamiento del recocido

Este proceso consiste en el calentamiento del acero a la temperatura adecuada durante un tiempo y luego enfriar muy lentamente en el interior del horno o en algún material aislante del calor. Debido al enfriamiento lento el proceso puede ser asociado al diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro, que en nuestro caso se trata de una muestra de acero hipoeutectoide y corresponde el proceso al diagrama siguiente representado en la figura.

El propósito general del recocido es refinar el grano, proporcionar suavidad, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas y, en algunos casos, mejorar el maquinado.

Partiendo de una muestra de acero hipoeutectoide (0.2% de carbono en la figura 1), calentamos progresivamente. En la fig. 1a se observa la micro estructura de las fases perlita y ferrita. Al calentar y traspasar la línea crítica inferior (A_1), la perlita se transformará en pequeños granos de austenita por medio de la reacción eutectoide, dejando la ferrita inalterada (fig. 1b). Al seguir calentando y traspasar la línea crítica superior (A_3) los granos grandes de ferrita se transformarán en pequeños granos de austenita con lo que se obtendrá una micro estructura de austenita con granos muy pequeños (fig. 1c). Dejando enfriar lentamente la muestra se formarán pequeños granos de ferrita proeutectoide y pequeñas áreas de gruesa perlita laminar (fig. 1d). La temperatura adecuada para el recocido en el acero hipoeutectoide es de aproximadamente 10°C por encima de la línea A_3 . Si realizamos un estudio microscópico de las proporciones de ferrita y perlita presentes en un acero recocido, permitirá determinar el contenido de carbono aproximado en el acero, ya que el contenido de ferrita proeutectoide relativo al contenido de perlita sigue una relación lineal con respecto al contenido de carbono.



Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el recocido de un acero al 0.20% de carbono. a) Estructura original, ferrita y perlita de grano grueso. b) Justo por encima de la línea A_1 : la perlita se ha transformado en pequeños granos de austenita y la ferrita no ha cambiado. c) Por encima de la línea A_3 : solo austenita de grano fino. d) Después de enfriar a temperatura ambiente: ferrita de grano fino y pequeñas perlíticas.

5.9.5. Recocido en los aceros rápidos

El recocido de los aceros rápidos se realiza a temperaturas de 850 a 900° C, bajando su dureza de unos 600 a unos 250 Brinell. Como los aceros al cobalto tienen tendencia a oxidarse mucho y a descarbonarse, se deben recocer en hornos de atmósferas controladas o en cajas de carbón vegetal muy seco en trozos de unos 5 mm o con viruta de fundición. Las cajas se cierran con arcilla para conseguir su perfecta estanqueidad. La velocidad de enfriamiento debe ser inferior a los 10° C por hora hasta los 600° C, pudiendo luego enfriar al aire. De esta forma se evita templar el acero.

5.10. Temple

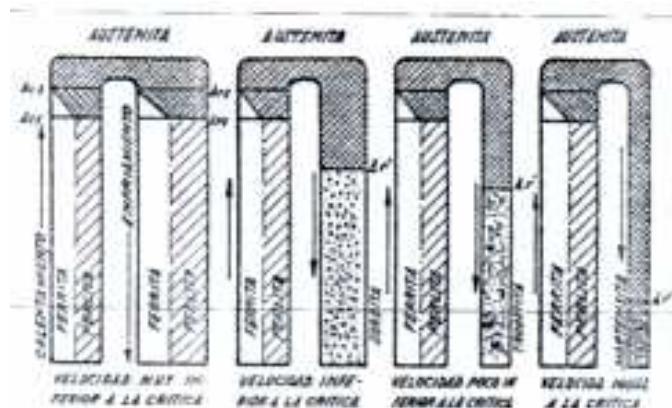
5.10.1. Definición

Es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada "crítica".

5.10.2. Generalidades

El temple de los aceros consiste en un calentamiento a temperatura suficientemente elevada para transformar toda la masa del acero en austenita, seguido de un enfriamiento suficientemente rápido para transformar la austenita en martensita

En la práctica, sin embargo, como luego veremos, no interesa transformar la totalidad de la masa de los aceros hipereutectoides (de más de 0.89 por ciento de carbono) en austenita, pues la cementita, que no se ha transformado y queda, por tanto, en la pieza después del temple, es aún más dura que la martensita.



Productos de transformación de la austenita obtenidos según la velocidad de enfriamiento de un acero al carbono de 0.45 % de C.

Tampoco se transforma en la práctica la totalidad de la austenita formada, en martensita, en muchos casos porque es imposible conseguir una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida en la totalidad de la masa de las piezas

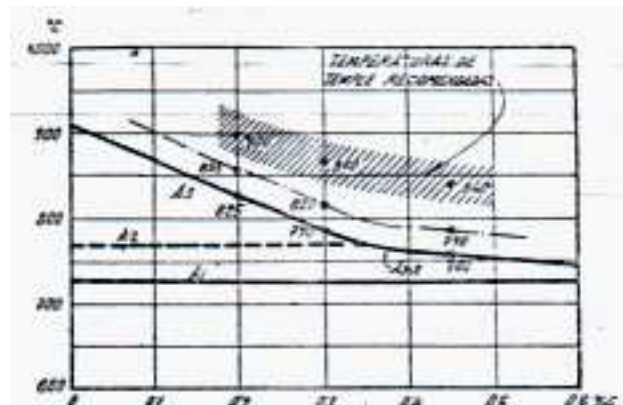
muy grandes, y en otros porque no interesa obtener este constituyente, sino otros como bainita, etc. como ocurre en algunas variedades del temple

5.10.3. Primera fase del temple: calentamiento

Esta fase tiene por objeto, en teoría, transformar toda la masa del acero en austenita. Su desarrollo está definido por tres variables: velocidad de elevación de temperatura, permanencia a la temperatura límite y temperatura límite.

Temperatura límite del temple:

Se define la temperatura límite de temple como la mínima que debe alcanzar un acero de una composición determinada, para que toda su masa pueda transformarse en cristales de austenita. Esta condición debe cumplirse rigurosamente en los aceros hipoeutectoides (de menos de 0.89% de carbono) para que el temple obtenido sea perfecto. En los aceros hipereutectoides, teóricamente y de acuerdo con lo dicho, también debería exigirse que a la temperatura límite de temple toda la masa del acero quedase transformada en austenita. Prácticamente sin embargo, se obtiene tan buenas o mejores características del acero templado sin llegar a la austenización completa de la masa, o sea, rigurosamente hablando con un temple imperfecto.



Temperatura de temple recomendada para los aceros al carbono hipoeutectoides

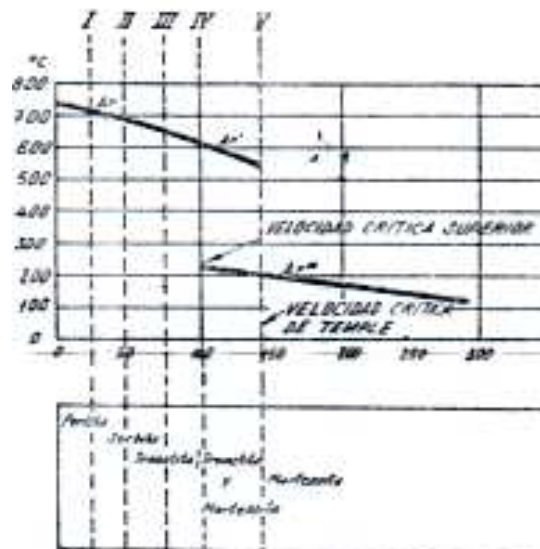
5.10.4. Segunda fase del temple: el enfriamiento

Tiene por objeto, en teoría, transformar la totalidad de la austenita formada en martensita, aunque en alguna variedad de temple el constituyente final deseado es la bainita.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad de enfriamiento mínimo para que tenga lugar la formación de la martensita. Esta velocidad se denomina velocidad crítica de temple. Para aclarar mejor este concepto, seguiremos el proceso de enfriamiento de un acero eutectoide, o sea, de 0,89 por ciento de C, cuya temperatura teórica de transformación de la austenita es 723°.

Supongamos que lo calentamos hasta 773°, es decir a $A_3 + 50^\circ$. Este margen de 50° se da para tener la seguridad de que se ha rebasado la temperatura límite de austenización a la velocidad de calentamiento que prácticamente se

emplee. Supongamos, por tanto, que al terminar de elevarse la temperatura hasta la indicada, y después de mantener el acero en ella el tiempo necesario, todo el material se ha transformado en austenita. A continuación se enfría al acero a distintas velocidades, representadas por las líneas verticales



Procesos de enfriamiento desde el estado austenítico de una aleación hierro – Carbono eutectoide a diferentes velocidades de enfriamiento y productos obtenidos en la transformación de la austenita.

I, II, III, IV y V, y examinemos lo ocurrido en cada uno de estos cinco procesos de enfriamiento.

Línea I. - Enfriamiento lento en el interior, del horno. La transformación de la austenita tiene lugar en el punto A_r , a unos 700° , es decir, con sólo 23° C de retraso de la temperatura crítica de equilibrio $A_1 = 723^\circ$. El constituyente finalmente obtenido es perlita de poca dureza (200 HB), que crece cuanto más fina es su estructura, es decir, cuanto mayor es la velocidad de enfriamiento. El proceso, en realidad, ha sido el de un recocido de regeneración.

Línea II. - Enfriamiento menos lento. La transformación de la austenita se retrasa más y tiene lugar a unos 650° , siendo el constituyente formado sorbita, cuya dureza, 320 HB, es superior a la de la perlita.

Línea III.- Enfriamiento medianamente rápido. La transformación de la austenita tiene lugar a 600° , siendo el constituyente formado la troostita, más duro que los anteriores, pues tiene 450 HB.

Línea IV. - A partir de una velocidad de enfriamiento determinada, que se denomina primera velocidad crítica, de temple o velocidad crítica inferior, se observa un desdoblamiento del punto crítico A_r en dos: uno que se denomina A_r' , que aparece a temperaturas de unos 600° , que es la iniciación de la troostita y otro punto de transformación A_r'' (1), que aparece a unos 250° , a partir cual se forma martensita, que es, como se sabe, el constituyente característico de los aceros templados.

Línea V.- Enfriamiento rápido. A partir de una velocidad determinada de enfriamiento desaparece el primer punto de transformación Ar' quedando únicamente el punto Ar'' . La velocidad mínima a que tiene lugar esta desaparición del punto Ar' se denomina segunda velocidad crítica de temple o velocidad crítica superior o, más comúnmente, velocidad crítica de temple. A partir de ella, el único constituyente formado por transformación de la austenita es la martensita, que es el único constituyente de los aceros que han adquirido un temple perfecto

5.10.5. Velocidad crítica del temple

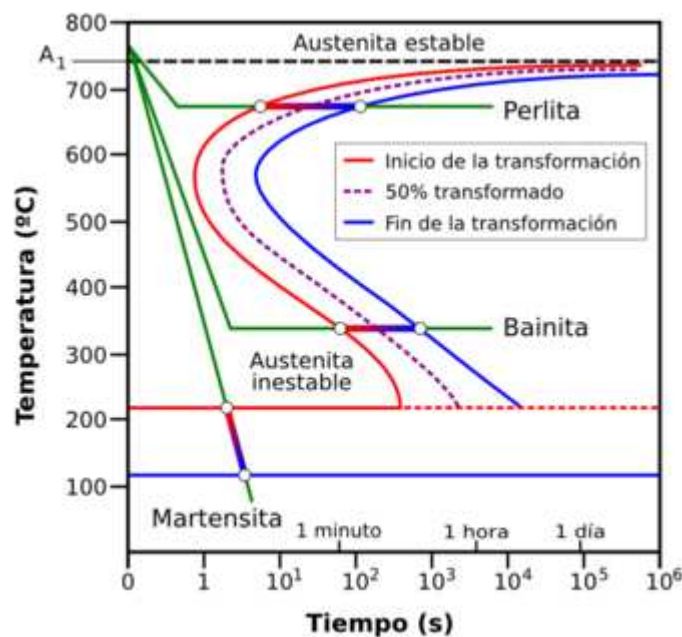
Se define la velocidad crítica de temple, de acuerdo con lo expuesto en el párrafo anterior, como la velocidad de enfriamiento mínima para que la totalidad de la austenita formada en el calentamiento del acero, se transforme en martensita.

Las velocidades críticas de temple varían, para los aceros al carbono, de 200° a 600° por segundo, según sea el porcentaje de carbono.

Los elementos de aleación hacen, en general, disminuir la velocidad crítica de temple, pudiendo algunos aceros aleados templarse al aire, a velocidades inferiores a 50°/s

5.10.6. Representación del temple en los diagramas de las curvas

Todo lo que hemos expuesto en el párrafo anterior puede representarse en los diagramas de las Curvas TTT. En la figura 29-3 se ha representado el diagrama TTT correspondiente al "mismo acero". En él se han dibujado también las líneas I, II, III, IV y V, que representan las curvas de enfriamiento a diferentes velocidades.



Representación de los procesos de enfriamiento en el diagrama TTT.

Representación de los procesos enfriamiento en el diagrama TTT del mismo acero.

La curva representativa de la velocidad crítica del temple es la V, tangente a la curva de iniciación de transformación de la austenita. A menores velocidades, parte de la austenita se transformará en otros constituyentes. A velocidades superiores a la crítica, toda la austenita se transformará íntegramente en martensita.

5.10.7. Factores que influyen en la práctica del temple

Los factores que más influyen en el temple son:

El tamaño de las piezas, su composición, el tamaño de su grano y el medio de enfriamiento aplicado.

5.10.8. Influencia del tamaño de las piezas

Uno de los factores que más influyen en las características finales que se obtienen al templar una pieza de acero, es su tamaño. En los perfiles delgados, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, se observará muy poca diferencia de temperatura entre la periferia y el interior de las piezas. Pero si se trata de piezas de gran espesor o gran diámetro, se comprende perfectamente que la temperatura en su interior sea inferior en el calentamiento y superior en el enfriamiento a la de su periferia, ya que el calor no se transmite directamente al interior, sino a través del espesor de la pieza, necesitando la transmisión de un tiempo determinado, que es el que produce el retraso con relación al proceso que se sigue.

Si se trata de calentamientos, el tamaño de las piezas no tiene otra influencia que aumentar la duración del proceso, pues, en general, no está limitada (hasta una temperatura determinada) la duración del calentamiento más que por razones económicas. Si la temperatura es muy elevada, ya hemos dicho que la duración del calentamiento aumenta el tamaño del grano.

Pero si se trata de un enfriamiento y siempre relativamente rápido como exige el temple, la influencia del espesor tiene mayores consecuencias, puesto que las velocidades que se obtienen en el interior de la pieza son a veces muy inferiores a las de la periferia. Y el resultado es que en piezas muy gruesas la velocidad de enfriamiento, a partir de un diámetro determinado, es inferior a la crítica y el núcleo de las piezas queda sin templar.

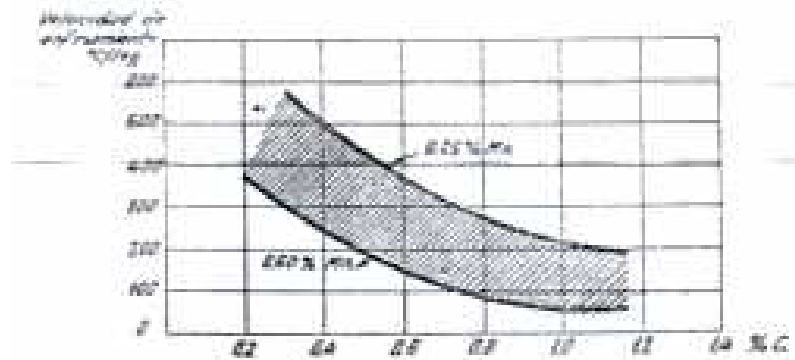
Sí esta barra se parte, se observan dos zonas perfectamente diferenciadas: una interior, de grano grueso, que es la zona que no ha adquirido temple por que la velocidad de enfriamiento ha sido inferior a la crítica, y otra zona periférica, de grano fino, que es la zona templada

La zona templada tiene aproximadamente la misma profundidad, sea cual sea el diámetro de la barra o espesor de la pieza, para, una misma composición del acero y condiciones de enfriamiento aumentando ligeramente a medida que el diámetro es más pequeño. Se comprende que cuando el radio de la pieza sea aproximadamente igual que la profundidad del temple, la totalidad de la masa del acero quedará templada.

5.10.9. Influencia de la composición

El contenido de carbono del acero influye a la vez en la temperatura y en la velocidad crítica del temple. La temperatura de temple es tanto más baja cuanto más se aproxima el acero a la composición eutectoide. En el cuadro 29-1 se dan las temperaturas de temple correspondientes a aceros de diferente contenido de carbono.

La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta

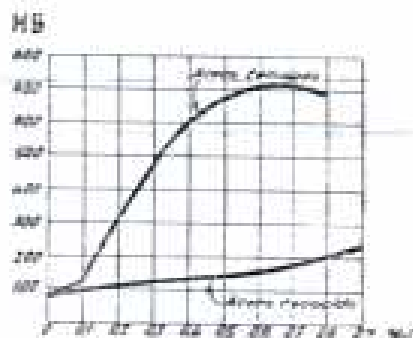


Velocidades críticas de temple de los aceros al carbono hipoeutectoides

Por tanto, para las mismas condiciones de enfriamiento, el temple obtenido es más energético y la dureza en los aceros al carbono templados es mayor cuando más alto su porcentaje de carbono

Los elementos de aleación cambian la posición del punto eutectoide en el diagrama hierro-carbono ya conocido, y el acero aleado eutectoide no tiene ya el mismo porcentaje de carbono y, por tanto, se desplaza a derecha y a izquierda, ni la misma temperatura de transformación, y por tanto se desplaza hacia arriba o hacia abajo. En líneas generales, ocurren las siguientes variaciones:

1. - El aluminio, el berilio, el niobio, el tántalo, el titanio y el circonio forman carburos y aumentan, por tanto, el contenido de carbono del eutectoide desplazándolo hacia la derecha.



Influencia del contenido carbono en el endurecimiento obtenido por el temple de los aceros al carbono

2. - El cobalto, el cobre y el silicio forman soluciones sólidas con el hierro, pero no dan ningún carburo. Como consecuencia, baja el contenido de carbono del eutectoide, desplazándose hacia la izquierda.

3. - El molibdeno, el cromo, el wolframio, el manganeso y el níquel disminuyen o aumentan el contenido de carbono del eutectoide, según la importancia de la aleación, pues de ella depende que formen soluciones sólidas con el hierro y el carbono o carburos metálicos.

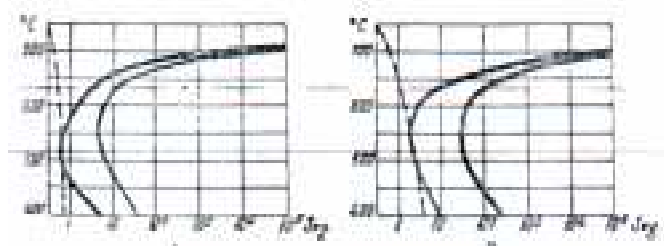
TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL TEMPLE DE LOS ACEROS AL CARBONO

| %C | °C | Austenización |
|------|-----|---------------|
| 0.10 | 925 | |
| 0.20 | 900 | |
| 0.30 | 870 | |
| 0.40 | 840 | |
| 0.50 | 830 | |
| 0.60 | 810 | |
| 0.70 | 780 | |
| 0.80 | 770 | |
| 0.90 | 770 | Incompleta |
| 1.00 | 760 | Completa |
| 1.20 | 760 | Completa |
| 1.40 | 760 | Completa |

Influencia de los elementos de aleación de los aceros en la posición de los puntos críticos.

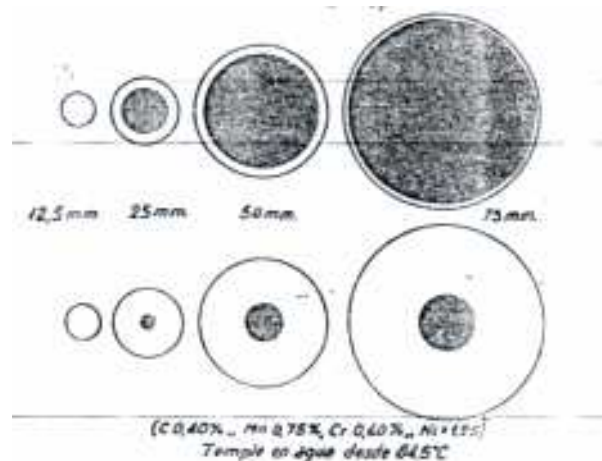
Si los elementos aleados son dos o más, se suman las traslaciones obtenidas

Además de variar los elementos aleados, la temperatura de temple, varía también la velocidad crítica, desplazando las curvas de los diagramas TTT hacia la derecha.



Influencia del porcentaje de manganeso en la velocidad crítica de temple de un acero de 0.60% de Cr, 0.91% de Mn, 1.32% de Mn

Los elementos que más disminuyen la velocidad crítica del temple son el magnesio y el molibdeno, aunque con menos intensidad, el cromo, el silicio y el níquel



Profundidad de temple obtenido en barras de acero al carbono y aceros cromo níquel de diferentes diámetros. La zona sin templar es la oscura

Como consecuencia de la disminución de la velocidad crítica de temple, resulta mayor la profundidad de la zona que queda templada en los aceros aleados con manganeso, molibdeno, cromo, silicio y níquel. Y resulta también mayor el diámetro o espesor de las piezas que pueden quedar totalmente templados en los aceros aleados que en los aceros al carbono

5.10.10. Influencia del tamaño del grano

El tamaño del grano influye principalmente en la velocidad crítica de temple. A igualdad de composición las velocidades críticas de temple de los aceros de grano grueso son inferiores a las velocidades críticas de los aceros de grano fino.

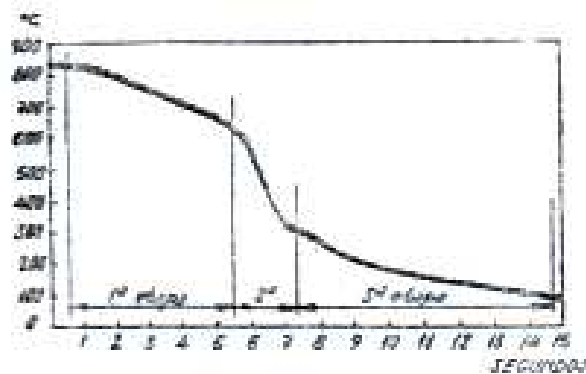
5.10.11. Influencia del medio de enfriamiento

Al sumergir una barra de acero a alta temperatura en un líquido, tienen lugar las siguientes etapas

1. ^a Inmediatamente después de introducir la barra se forma una capa de vapor que envuelve el metal y que dificulta el enfriamiento, que por esta razón empieza siendo bastante lento influyen en esta etapa la temperatura inicial del baño, la temperatura de ebullición, la conductividad de su vapor y el grado de agitación del baño, que remueve el líquido en contacto con la barra.

2. ^a Al descender la temperatura desaparece la envuelta de vapor, aunque el líquido en contacto con el metal sigue hirviendo y produciendo burbujas. El enfriamiento es rápido y se denomina enfriamiento por transporte de vapor. Influyen en esta etapa el calor de vaporización y la viscosidad del líquido.
3. ^a Cuando la temperatura del metal desciende por debajo de la temperatura de ebullición del líquido de temple, el enfriamiento se hace por conducción y convección; pero como entonces la diferencia de temperatura entre el metal y el medio es pequeña, el enfriamiento es lento, dependiendo de la conductividad térmica del líquido y de su grado de agitación.

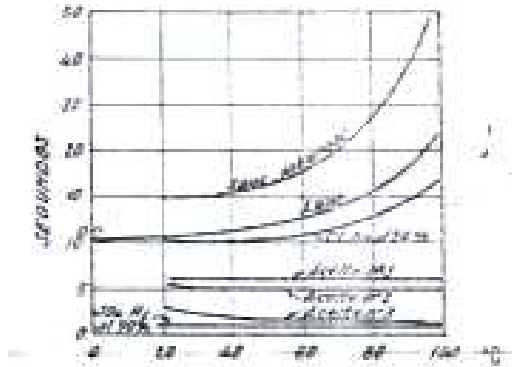
De lo expuesto se deduce que las propiedades de los líquidos que más influyen en el enfriamiento de los aceros son: la temperatura inicial del baño, su temperatura de ebullición, su calor de vaporización, su calor específico, su conductividad calorífica, su viscosidad y, además, la masa del baño y su grado de agitación.



Curva de enfriamiento de un cilindro de acero de pequeño diámetro en agua a 58 grados (Scott).

1. ° Temperatura del baño: La temperatura del baño influye mucho en la velocidad inicial del enfriamiento. Si la temperatura del baño, es alta, se prolonga mucho la primera etapa.
2. ° Temperatura de ebullición del líquido: Cuanto más volátil es el baño, o sea, cuando más bajo sea su punto o temperatura de ebullición, mayor será el desprendimiento de vapor en la primera etapa y más lento será, por tanto, el enfriamiento. En la figura 29-16 puede verse que el agua y el agua jabonosa, que son los medios más volátiles, son las que producen un enfriamiento más lento en la primera etapa.
3. ° Calor de vaporización: Cuanto mayor sea el calor de vaporización del medio, mayor será el calor desprendido en la primera etapa por el vapor que se produzca en ella.
4. ° Calor específico: Cuando mayor sea el calor específico, menor será la elevación de la temperatura del baño, para una misma masa de líquido y

5. ° Conductividad calorífica: La transmisión del calor absorbido de la pieza por el líquido en contacto con ella a través del baño, depende de su conductividad calorífica. Su influencia sin embargo, en la práctica es pequeña, ya que el calor se transmite por toda la masa del líquido, en su mayor parte por convección.



6. ° Viscosidad: Como hemos dicho antes, el enfriamiento del acero en las etapas segunda y tercera se verifica, sobre todo, por convección. Por tanto, cuanto menos viscoso sea el líquido, tanto más intensas serán las corrientes de convección y más rápido será el enfriamiento. Precisamente por ser el aceite más viscoso que el agua, su acción es menos energética (cuadro 29-2),

REFRIGERACIÓN RELATIVA DE VARIOS MEDIOS. SEGUN LA VISCOSIDAD (SE HA TOMADO EL VALOR 1 PARA EL AGUA)

121

8. ° Agitación del baño.—La renovación del líquido en contacto con el acero favorece mucho el enfriamiento. En el cuadro 29-3 se ven los enfriamientos relativos obtenidos por varios medios, según el grado de agitación.

REFRIGERACIÓN RELATIVA DE VARIOS MEDIOS, SEGÚN EL GRADO DE AGITACIÓN (SE HA TOMADO EL VALOR 1 PARA EL AGUA SIN AGITACIÓN)

| AGITACIÓN | ACEITE | AGUA | AGUA SALADA |
|------------------------|-------------|-----------|-------------|
| 0.1.1.1.1.1.1.1.1 Nula | 0.25 – 0.30 | 1 | 2 |
| Débil | 0.30 – 0.35 | 1.0 – 1.1 | 2 – 2.2 |
| Moderada | 0.35 – 0.40 | 1.2 – 1.3 | - |
| Buena | 0.40 – 0.50 | 1.4 – 1.5 | - |
| Fuerte | 0.50 – 0.80 | 1.6 – 2.0 | - |
| Violenta | 0.80 – 1.10 | 4 | 5 |

5.10.12. Elección del medio de enfriamiento

El medio de enfriamiento más adecuado para templar un acero es el que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. No sólo no es necesario, sino que es perjudicial que la velocidad de temple sea excesivamente grande, pues se corre el peligro de que se produzcan grietas y tensiones debido al desigual enfriamiento de las piezas entre la superficie y el interior de ellas. Si el enfriamiento es lento, es más uniforme.

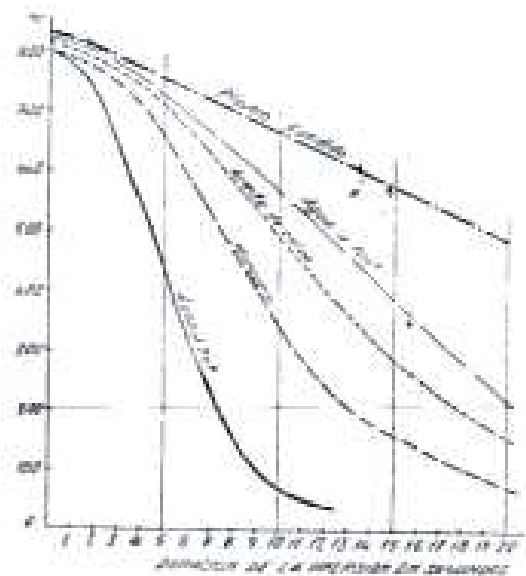
Las velocidades críticas son bastante grandes en los aceros al carbono, llegando hasta 350° por segundo para los aceros de 0,50 por ciento de C, y 200° por segundo en aceros de 0,80 por ciento. En los aceros especiales, las velocidades son mucho más bajas, siendo en algunos inferiores a 35° por segundo.

Los medios de enfriamiento más empleados son:

Agua: Debe emplearse a temperatura máxima de 20°, pues con agua más caliente se prolonga mucho la primera etapa de enfriamiento y disminuye la velocidad de temple.

Aceites: Antiguamente se empleaban aceites animales (de pescado) y vegetales (sobre todo, el de colza) . Pero en la actualidad se prefieren los aceites minerales, procedentes de la destilación del petróleo y, a ser posible, preparados especialmente para temple.

Los aceites minerales suelen tener las siguientes características:



Viscosidad de 5 a 9 grados Engler, pudiendo subir hasta 2 y 4 grados Engler a la temperatura de 50°. Con el uso, la viscosidad aumenta, debiendo desecharse los aceites cuando llega la viscosidad a 20 grados Engler a la temperatura ambiente.

Curvas de enfriamiento empleando varios medios, de una pieza de acero de 3 gramos de peso en baños de 3 litros (Chatelier)

La temperatura de inflamación debe ser, como mínimo, 180°, y la de combustión, 200°, para alejar el peligro de infamación.

Además, deben ser los aceites poco volátiles, para que desprendan pocas burbujas al ponerse en contacto con el metal caliente y no se consuman mucho. Deben ser también resistentes a la oxidación.

Plomo: Se emplea para temprar herramientas de aceros especiales, muelles y alambres (cuerda de piano).

5.10.13. Temple en los aceros rápidos

El temple se realiza a temperaturas muy elevadas, de unos 1250° C, para conseguir la dilución de los carburos. Si no se llega a los 1200° C, la martensita que se forma es blanda, y si se sobrepasa la temperatura límite (que depende de la composición de cada acero) queda mucha austenita residual al temprar, y la estructura que resulta también es blanda. El calentamiento se debe realizar en dos fases, como ya se ha explicado. Se emplean mucho los hornos de sales con calentamiento eléctrico, lo que evita la formación de cascarilla y la descarburación.

5.11. Revenido

Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado".

El tratamiento de revenido consiste en calentar al acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Los fines que se consiguen con este tratamiento son los siguientes:

Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.

Disminuir las tensiones internas de transformación, que se originan en el temple.

Modificar las características mecánicas, en las piezas templadas produciendo los siguientes efectos:

Disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.

Aumentar las características de ductilidad; alargamiento estricción y las de tenacidad; resiliencia.

Los factores que influyen en el revenido son los siguientes: la temperatura de revenido sobre las características mecánicas, el tiempo de revenido (a partir de un cierto tiempo límite la variación es tan lenta que se hace antieconómica su prolongación, siendo preferible un ligero aumento de temperatura de revenido), la velocidad de enfriamiento (es prudente que el enfriamiento no se haga rápido) y las dimensiones de la pieza (la duración de un revenido es función fundamental del tamaño de la pieza recomendándose de 1 a 2 horas por cada 25mm de espesor o diámetro).

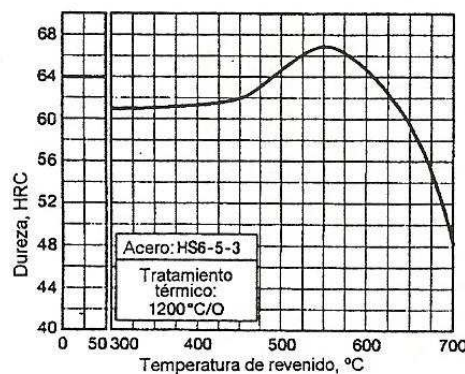
El acero templado se vuelve frágil, siendo inútil en estas condiciones, por eso vamos al REVENIDO. Esta operación viene es para que las tiranteces y tensiones generadas en el acero no tengan tiempo de actuar provocando deformaciones o grietas.

Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza.

Es conveniente efectuar el revenido de los aceros de herramientas inmediatamente después de templarlos y antes de que se hayan enfriado a la temperatura ambiente, para reducir al mínimo el peligro de formación de grietas, debidas a las tensiones originadas en el temple.

5.11.1. Revenido en los aceros rápidos

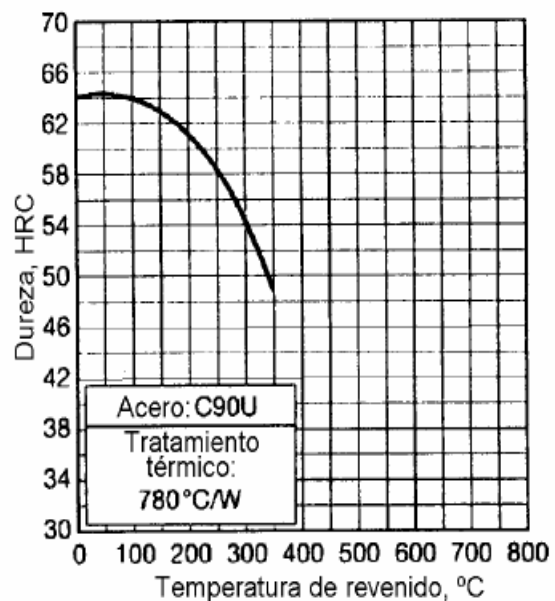
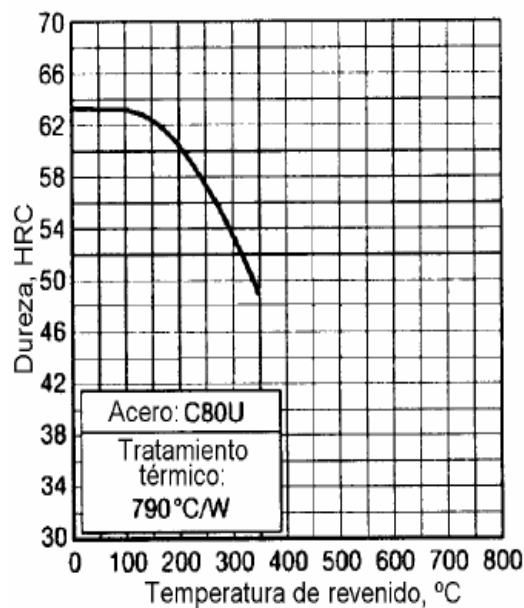
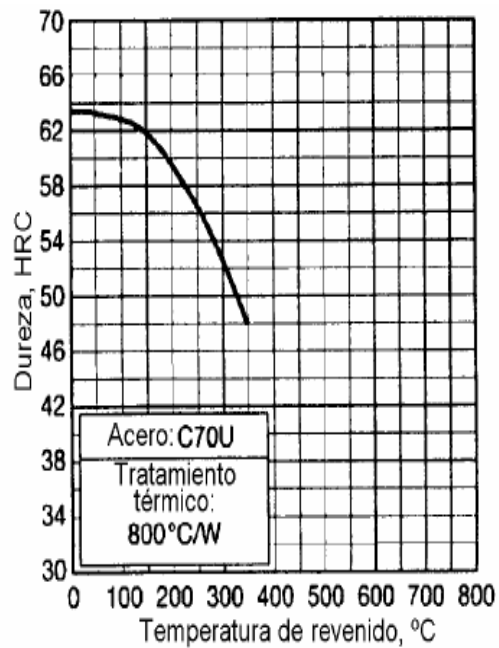
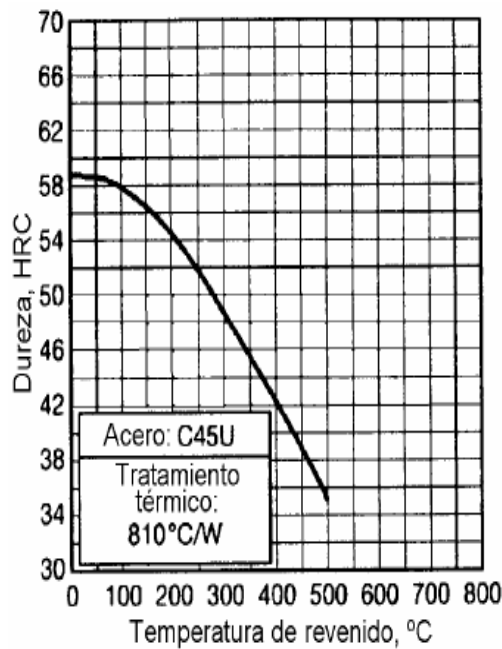
El revenido debe realizarse inmediatamente después del temple, a 525-580° C, según el acero, con una duración de dos horas por cada 25 mm de espesor de la pieza, y enfriando después al aire. Conviene dar un segundo revenido a una temperatura de 10 a 20° C más baja que en el primero.



5.11.2 Curvas del revenido de los aceros de herramientas de la norma UNE ISO 4957

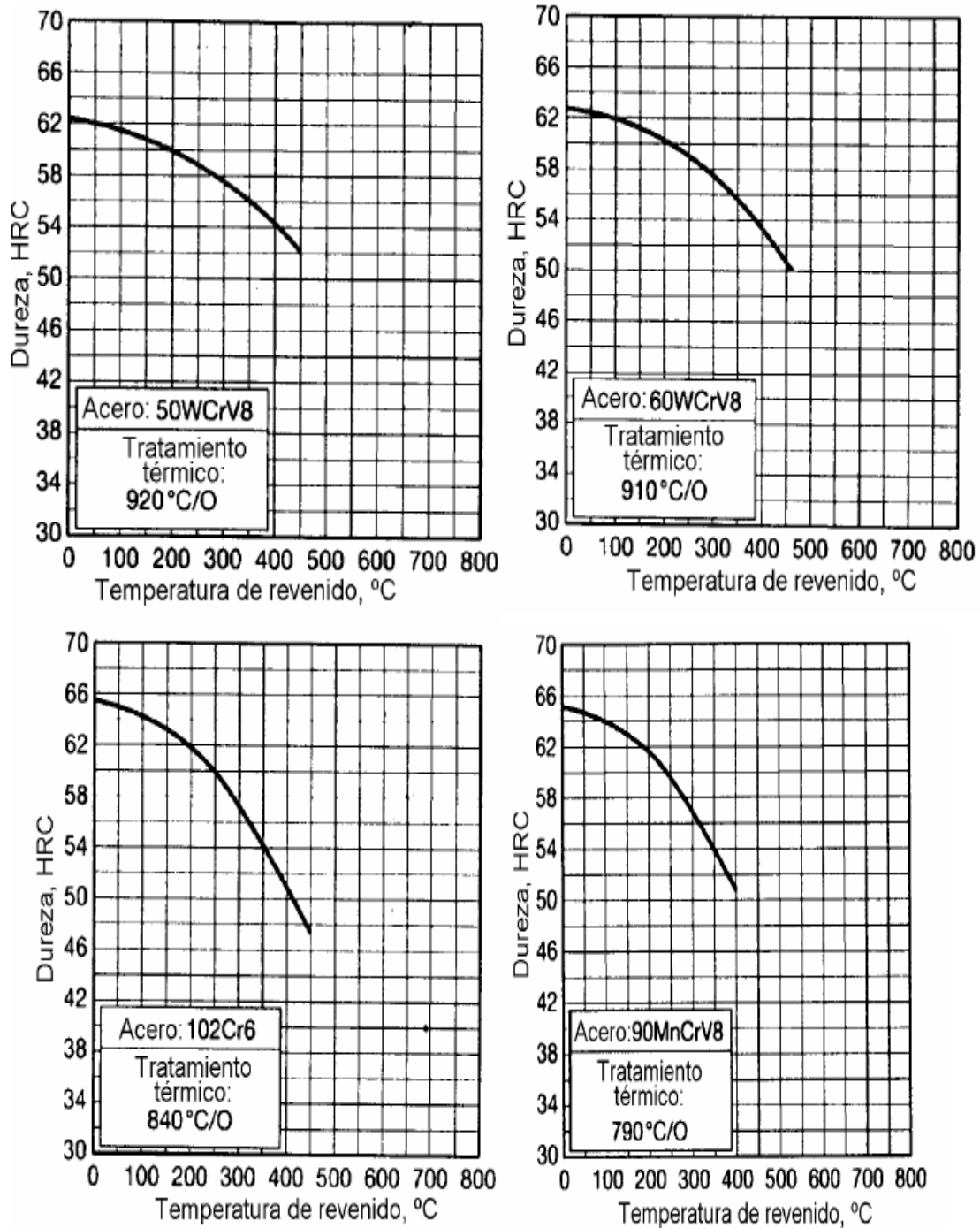
En la norma UNE ISO 4957 especifica las curvas de dureza/temperatura de revenido de distintos tipos de aceros de herramientas. En las curvas de los siguientes apartados (5.11.2.1., 5.11.2.2., 5.11.2.3. y 5.11.2.4.) se menciona la temperatura de austenización y el medio de temple (W = agua, O = aceite, A = aire)

5.11.2.2. Ejemplo de Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas no aleados para trabajo en frío



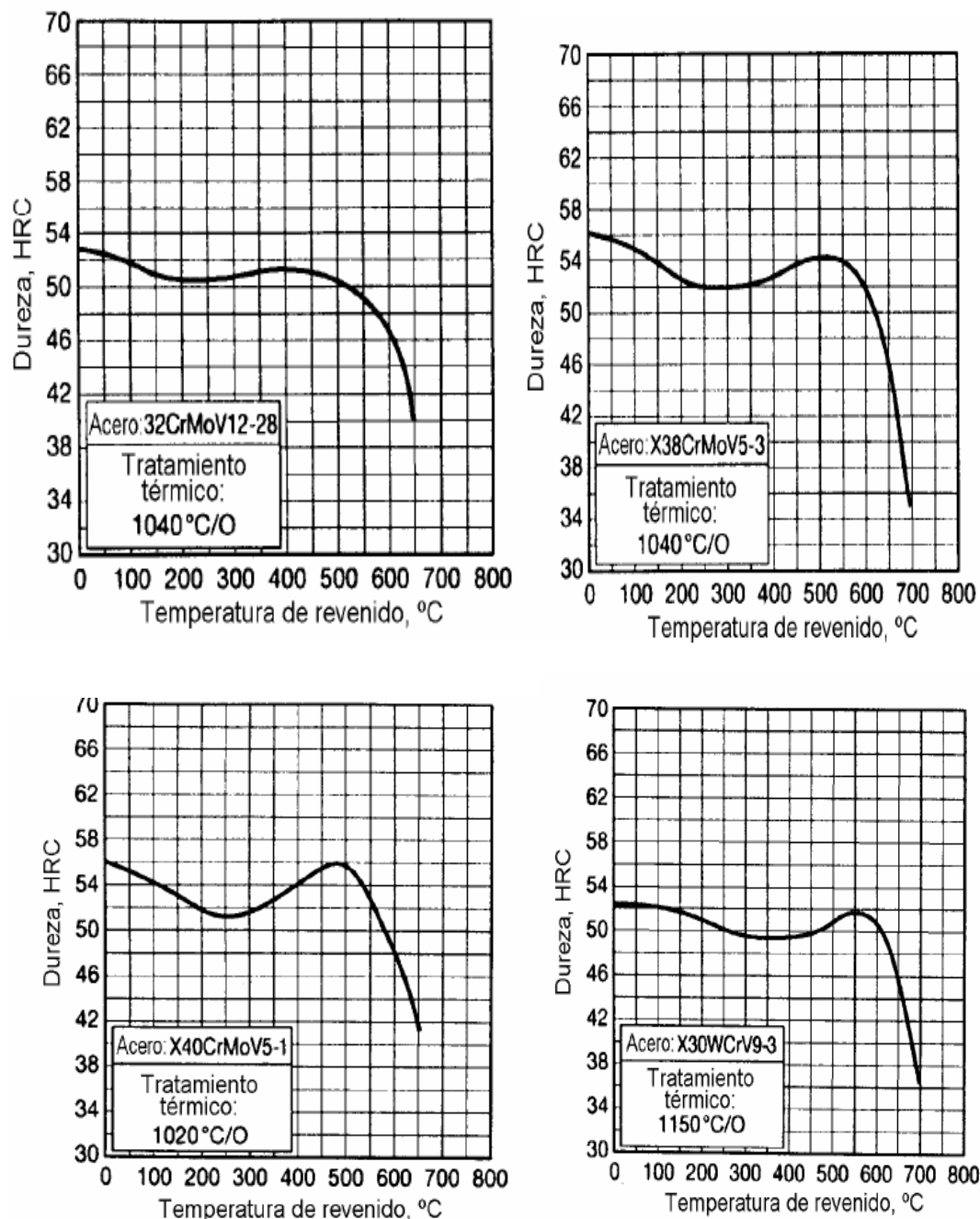
Como se puede comprobar al aumentar la temperatura en el revenido se disminuye la dureza.

5.11.2.2. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas aleados para trabajo en frío



Al igual que en los aceros no aleados para trabajo en frío disminuye la dureza con la temperatura en el revenido, pero en los aceros aleados para trabajo en frío conserva mejor la dureza a mayor temperatura de revenido.

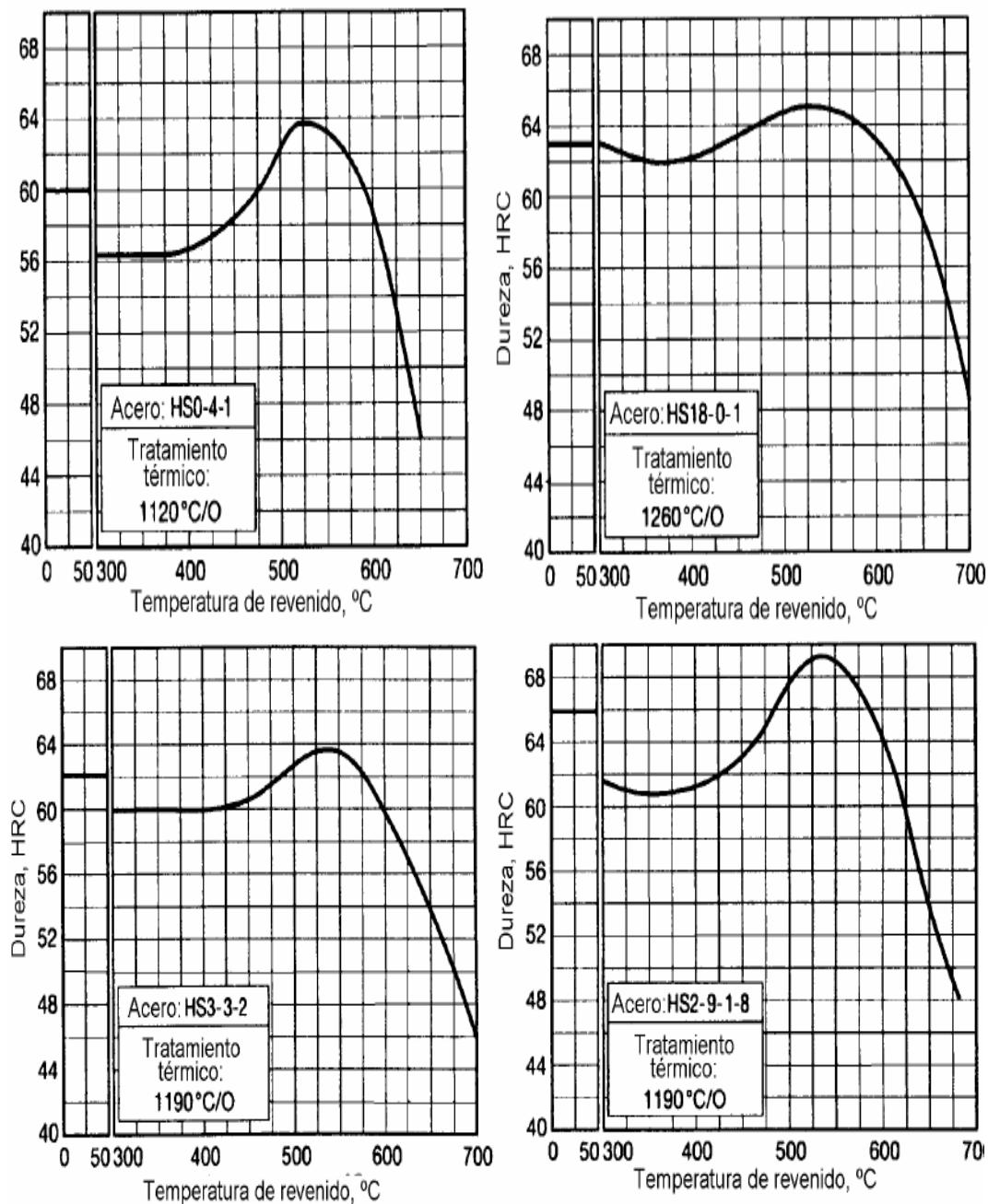
5.11.2.3. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros para herramientas para trabajo en caliente



Como se puede comprobar en las graficas, en los aceros de herramientas para trabajo en caliente la temperatura del revenido puede llegar hasta los 700 °C. También en las graficas, vemos que las gráficas no tienen forma de parábola, por lo que en este caso disminuye y luego aumenta la dureza respecto la temperatura, teniendo dos puntos de inflexión.

También se puede comprobar que la dureza es inferior respecto al resto de los aceros de herramientas.

5.11.2.4. Curvas de dureza/temperatura de revenido para aceros rápidos para herramientas



En las graficas de los aceros rápidos vemos también que pueden llegar la temperatura de revenido hasta los 700°C y además que las graficas aumentan la dureza respecto a la temperatura hasta su punto de inflexión para luego bajar.

5.12. Templabilidad

Ocurre cuando los aceros se dejan penetrar por el temple. Esta solo se refiere a la facilidad de penetración por el temple y no a las características obtenidas por e, pero a consecuencia de esta facilidad se obtiene mejora en otras características y recomienda el empleo de acero del gran templabilidad, sobre todo para la fabricación de grandes piezas.

La templabilidad influye principalmente en los elementos aleados y el tamaño del grano, el elemento que mas lo favorece son manganeso, el moliteno y cromo.

La determinación de la templabilidad puede hacerse por el examen de la fractura de probeta templada, por medio de las curvas en U mas exactamente por el diámetro crítico ideal o por el ensayo de Jomyng.



5.13. Tratamiento criogénico

5.13. 1. Introducción

El tratamiento criogénico es una tecnología conocida desde hace tiempo. El propósito principal de su aplicación es el de aumentar la resistencia al desgaste de aceros para herramientas para prolongar el tiempo de vida útil de las mismas. Sin embargo, su aplicación dentro de la industria es muy limitada y los verdaderos fundamentos teóricos del porqué de sus beneficios siguen en discusión.

5.13. 1. Principios del tratamiento criogénico

El tratamiento criogénico consiste en enfriar los materiales a velocidad de $-1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ de temperatura ambiente a -196°C , mantener esta temperatura por un intervalo mínimo de 20hrs, dejar regresar el material a temperatura ambiente por convección natural dentro de la cámara criogénica y finalmente aplicar un revenido a 150°C durante 2hrs por pulgada de sección transversal de la pieza.

Bajo este tratamiento se obtienen los siguientes resultados,

- 1) Alrededor de los -80°C , se asegura la terminación de la transformación de la austenita en martensita para cualquier acero, por lo que se obtiene una estructura 100% martensítica. Esta estructura es dimensionalmente estable, ya que la martensita no se transforma en otra estructura a temperatura ambiente, además de ser más resistente al desgaste. Esta transformación es independiente del tiempo, solo es necesario que el material llegue a la temperatura M_f para que la transformación se lleve a cabo.
- 2) Bajo la exposición de la martensita a temperaturas criogénicas por tiempo prolongado, se forman millones de *etacarburos*, cuya composición química depende de los elementos de aleación que contenga el material. Estos carburos hacen de la matriz una estructura más densa y homogénea, la cual es más resistente al desgaste
- 3) Para cualquier otro material (no ferroso o ferroso sin tratamiento térmico), la estructura cristalina se perfecciona, eliminando vacancias, traslapes, dislocaciones, etc., transformación que resulta en una liberación de esfuerzos residuales muy considerable, haciendo más tenaz al material tratado.

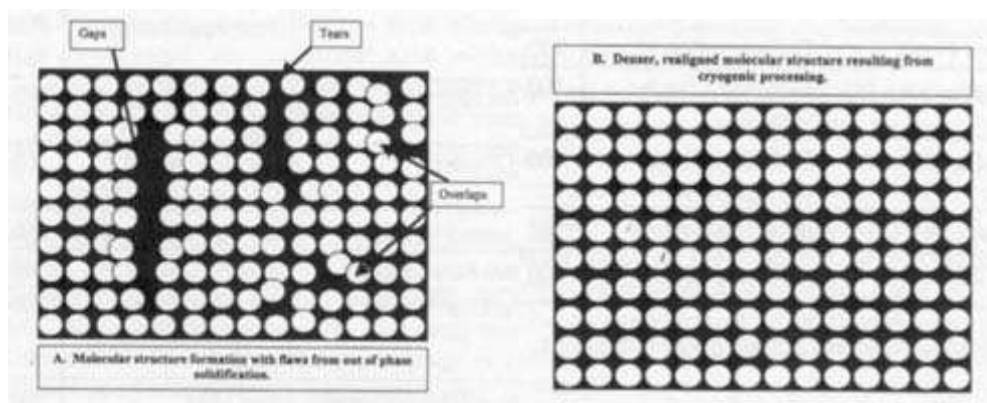
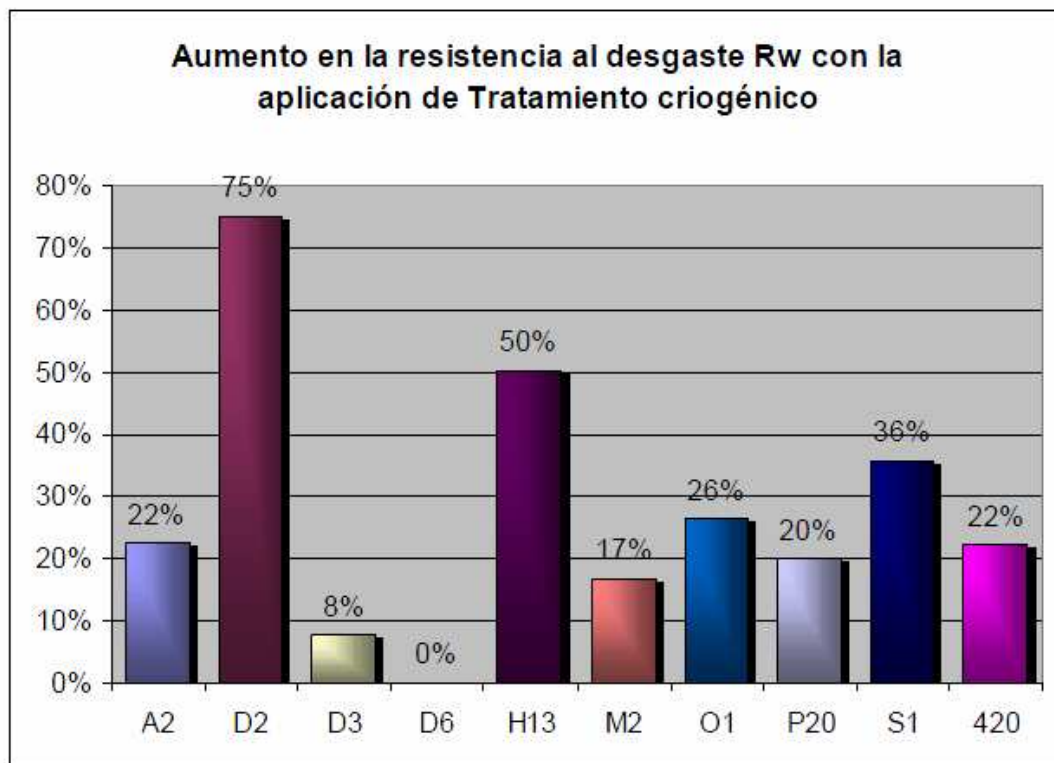


Fig. 2.4 Izquierda, arreglo molecular de una estructura templada. Derecha, arreglo molecular de una estructura después de tratamiento criogénico.

Este tratamiento es permanente y no es un sustituto del templado sino una continuación del mismo. Transforma la austenita retenida en martensita en los aceros templados y perfecciona la red molecular en todo el material.

Ejemplo de mejoras de un ensayo realizado en tres laboratorios de Villacero sobre aceros de herramientas.

| Material | Dureza Vickers Mpa | Desgaste en 600 seg. Mm^3 | Relación de desgaste (W_o) mm^3/s | Resistencia al desgaste R_w |
|----------|-----------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|
| A2 | 7305 | 0.3332 | 0.0005553 | 79310 |
| A2 crio | 8482 | 0.2343 | 0.0003906 | 97119 |
| D2 | 6021 | 0.2458 | 0.0004097 | 130420 |
| D2 crio | 6021 | 0.1404 | 0.0002340 | 228365 |
| D3 | 5472 | 0.1444 | 0.0002407 | 244295 |
| D3 crio | 5825 | 0.1259 | 0.0002098 | 263258 |
| D6 | 5433 | 0.1060 | 0.0001766 | 335372 |
| D6 crio | 5491 | 0.1048 | 0.0001746 | 335507 |
| H13 | 4658 | 0.3217 | 0.0005361 | 128850 |
| H13 crio | 4795 | 0.2080 | 0.0003466 | 193567 |
| M2 | 7845 | 0.1709 | 0.0002849 | 143954 |
| M2 crio | 8384 | 0.1368 | 0.0002281 | 168255 |
| O1 | 6658 | 0.2090 | 0.0003484 | 138714 |
| O1 crio | 7051 | 0.1562 | 0.0002603 | 175322 |
| P20 | 5433 | 0.4977 | 0.0008296 | 71394 |
| P20 crio | 5884 | 0.3829 | 0.0006382 | 85691 |
| S1 | 6452 | 0.3516 | 0.0005860 | 85097 |
| S1 crio | 6511 | 0.2565 | 0.0004275 | 115592 |



6. ACEROS DE

HERRAMIENTAS MÁS COMUNES

En este apartado veremos algunos de los aceros de herramientas más comerciales y comunes que podemos encontrar.

6.1. Aceros aleados para trabajo en frío

6.1.1. X153CrMoV12

Propiedades

Acero ledeburítico al 12% de cromo, de mínima variación dimensional; especialmente apto para el temple al aire. Buena tenacidad.

Aplicación

Herramientas de corte de gran rendimiento (matrices y punzones), herramientas para la técnica de estampado, herramientas para trabajar madera, cizallas para cortar de poco espesor, herramientas para laminar roscas, herramientas para estirar, para embutición profunda y extrusión en frío, para las industrias farmacéutica y de cerámica, cilindros para laminar en frío (cilindros de trabajo) para trenes de laminación de cajas múltiples, herramientas de medición, moldes pequeños para material plástico que exigen gran resistencia al desgaste.

| Composición química (valores aproximados en %) | | | | | |
|--|------|------|-------|------|------|
| C | Si | Mn | Cr | Mo | V |
| 1,55 | 0,30 | 0,30 | 11,00 | 0,75 | 0,75 |

Normes

Normas

DIN / EN
< 1.2379>
X153CrMoV12

AISI
D2

UNS
T30402

BS
~ BD2

UNE
~ F5211
~ X160CrMoV12

AFNOR
~ Z160CDV12

SIS
~ 2310

UNI
X155CrVMo12 1 KU

JIS
~ SKD11

GOST
~ Ch12F1

JIS: Norma Japonesa
AFNOR : Norma Francesa
GOST : Norma Rusa
BS : Norma de Reino Unido
UNI : Norma Italiana
SIS : Norma Sueca

Conformación en caliente

-Forjado:

1050 a 850°C. Enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

Tratamiento térmico

-Recocido blando:

800 - 850°C

Enfriamiento lento y controlado en el horno 10-20°C , enfriamiento posterior al aire. Dureza después del recocido blando: **máx. 250 Brinell.**

-Recocido de eliminación de tensiones:

650 - 700°C. Después de calentamiento a fondo mantener 1 a 2 horas a temperatura constante en atmósfera neutra / enfriamiento lento en el horno.

-Temple:

1020 - 1040°C. Herramientas de configuración complicada al aire, herramientas de configuración sencilla en aire comprimido, aceite, baño de sal de 220 a 250°C o 500 a 550°C. Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 15 - 30 minutos. Dureza obtenible: 63 - 65 HRC.

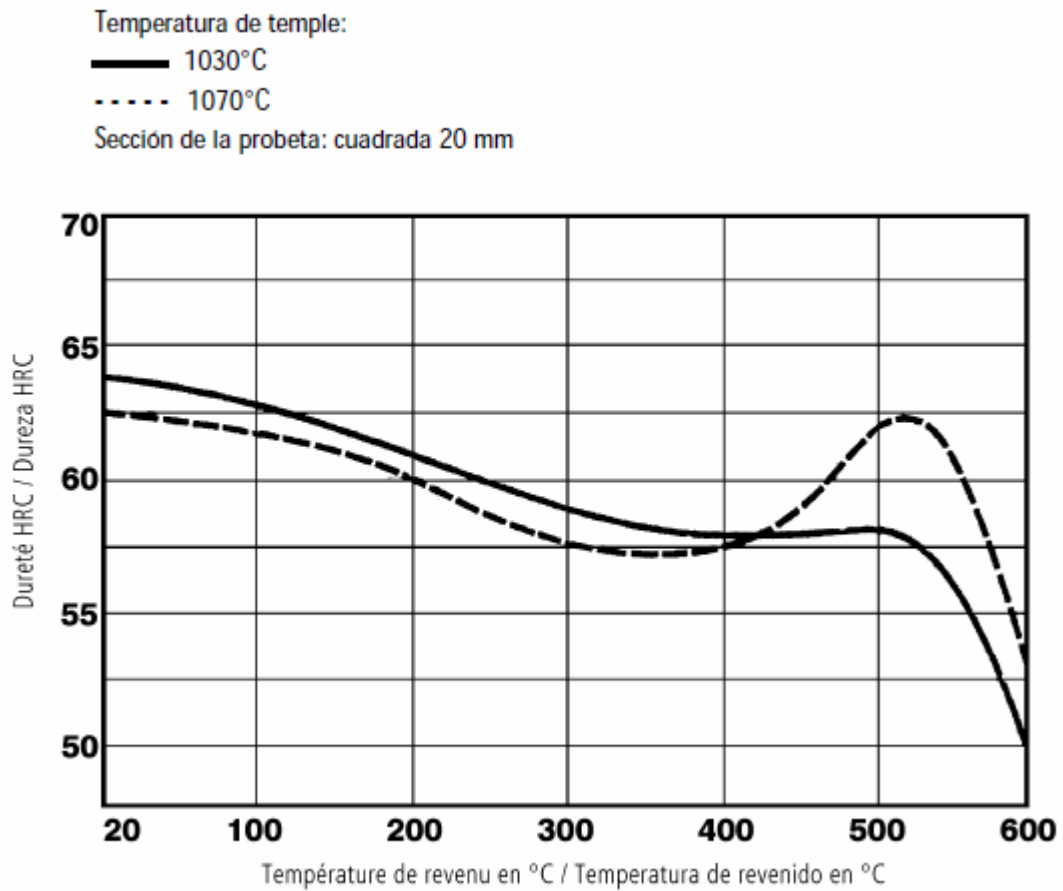
-Revenido:

Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple / tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero como mínimo 2 horas / enfriamiento al aire.

Los valores aproximados de la dureza alcanzable después del revenido figuran en el diagrama de revenido. En ciertos casos puede resultar conveniente reducirla temperatura de revenido y prolongar el tiempo de permanencia.

Para ciertas aplicaciones (p.ej. al exigir una mayor resistencia al revenido) se recomienda un tratamiento térmico especial que se describirá a continuación llamado "Nitruración".

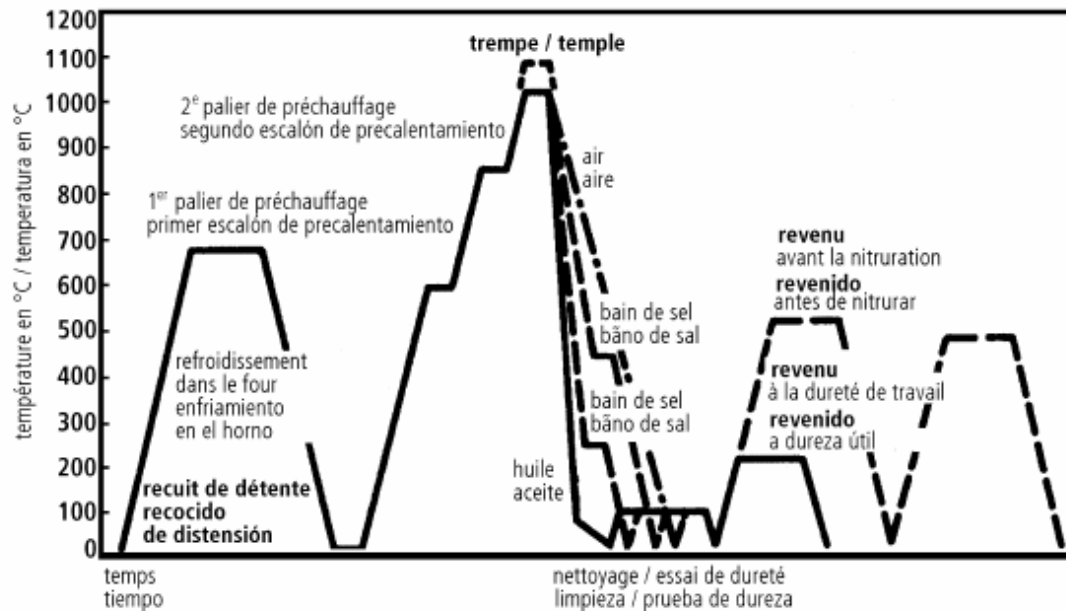
Diagrama revenido



Como ya se ha descrito anteriormente en el revenido al aumentar la temperatura del proceso disminuye la dureza del acero. En nuestro caso la temperatura del proceso puede llegar a unos 600°C del revenido. La temperatura del revenido depende también de la temperatura del templeado.

Tratamiento térmico

Esquema de tratamiento térmico



Como se puede comprobar en el proceso de tratamiento térmico podemos encontrar distintas fases.

- La primera fase siempre es un precalentamiento, llegando a los 700°C.
- La segunda fase es el temple, en el que para alcanzar los 1000°C del temple se hace de forma escalonada para luego enfriar mediante aire, baño de sal o aceite
- Por ultimo la fase es el revenido, que depende de si se quiere aplicar la nitruración.

Tratamiento superficial

-Nitruración:

Mediante este tratamiento puede obtenerse una dureza del material base de aprox. 60 HRC. Al exigir se una máxima exactitud dimensional, será conveniente elegir como temperatura de revenido como mínimo la temperatura del tratamiento de nitruración subsiguiente.

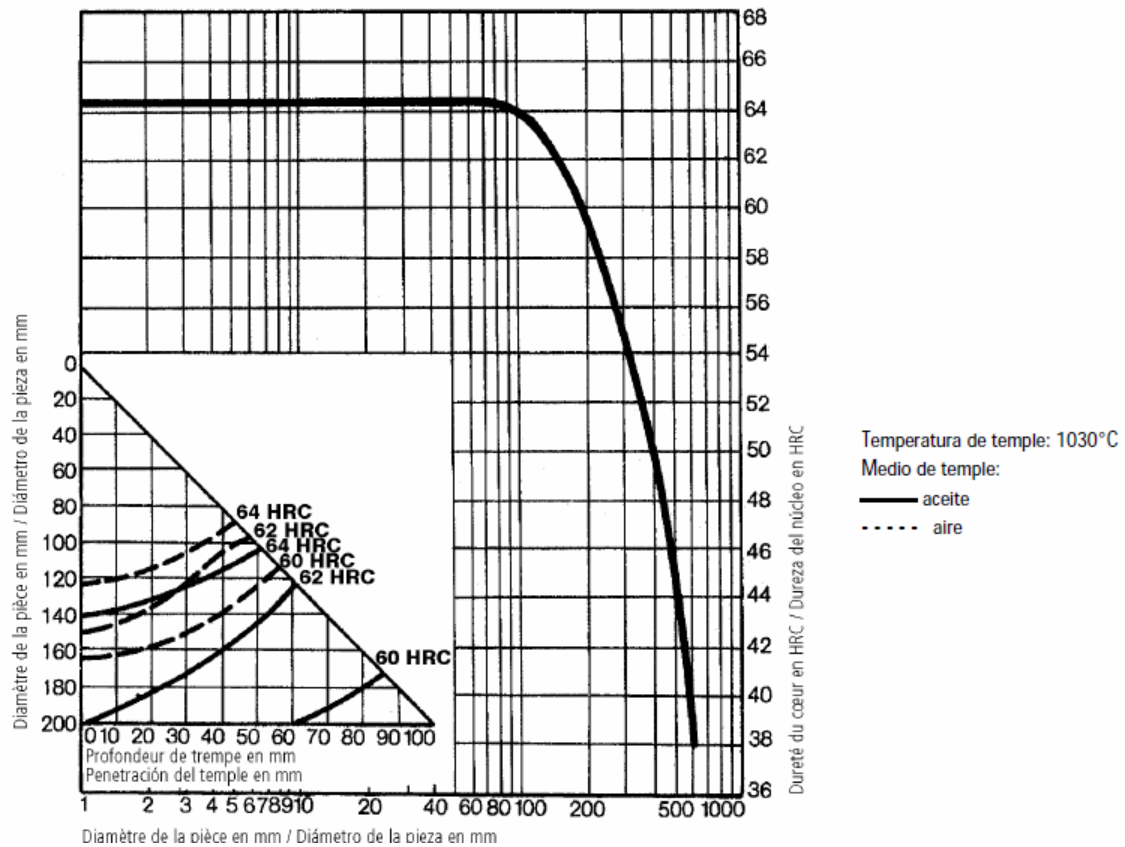
Después de la nitruración, se recomienda un recocido de distensión a aprox. 300°C. Si está prevista una nitruración en baño de sales se recomienda una temperatura de temple más elevada, de 1060-1080°C, seguida de dos procesos de revenido.

1. Revenir a 520°C

2. Revenir a 30-50°C por debajo de la temperatura del primer revenido. A continuación se procede por ejemplo a un tratamiento "Tenifer" a 570°C.

Tiempo de mantenimiento para una profundidad de nitruración de 0,03 mm, 30 minutos.

Dependencia de la dureza del núcleo y de la penetración del temple en función del diámetro de la pieza



Como se puede comprobar en la figura la dureza del núcleo depende del diámetro de la pieza, la penetración del temple y el modo de enfriamiento. A mayor diámetro menor dureza del núcleo y a mayor velocidad de enfriamiento mayor dureza.

Propiedades físicas

Densidad a20°C7,70kg/dm³

Conductibilidad térmica a20°C20,0W/(m.K)

Calor específico a20°C460J/(kg.K)

Resistencia eléctrica específica a20°C |0,65Ohm.mm²/m

Módulo de elasticidad a20°C210 x 10³N/mm²

| Dilatation thermique, entre 20°C et ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK) | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK) | | | | | |
| 100°C | 200°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C |
| 10,5 | 11,0 | 11,0 | 11,5 | 12,0 | 12,0 |

6.2. Aceros aleados para trabajo en caliente

6.2.1. X38CrMoV5-

Propiedades

Acero para trabajar en caliente de gran tenacidad y de alta resistencia en caliente, especialmente apto para temple al aire. Se presta para el enfriamiento en agua.

Aplicación

Herramientas para trabajar en caliente sometidas a esfuerzos elevados, tales como punzones y matrices para prensar, cilindros, receptores para la extrusión de barras y tubos metálicos, herramientas de extrusión por impacto en caliente para la fabricación de cuerpos huecos, herramientas para la fabricación de tuercas, tornillos, remaches y bulones. Herramientas para fundición a presión, herramientas para prensar piezas perfiladas, elementos de matrices, cuchillas para cortar en caliente.

| Composición química | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| (valores aproximados en %) | | | | | |
| C | Si | Mn | Cr | Mo | V |
| 0,38 | 1,10 | 0,40 | 5,00 | 1,30 | 0,40 |

| Normes | | Normas | |
|-------------|---------|--------|-----------------|
| EN / DIN | AISI | UNS | BS |
| < 1.2343 > | H11 | T20811 | ~BH11 |
| X38CrMoV5-1 | | | |
| UNE | GOST | JIS | UNI |
| ~ F5317 | 4Ch5MFS | SKD6 | ~X37CrMoV5-1 KU |
| ~ X37CrMoV5 | | | |

AFNOR
Z38CDV5

JIS: Norma Japonesa
AFNOR : Norma Francesa
GOST : Norma Rusa
BS : Norma de Reino Unido
UNI : Norma Italiana
SIS : Norma Sueca

Conformación en caliente

-Forjado:

1100 a 900°C. Enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

Tratamiento térmico

-Recocido blando:

750- 800°C

Enfriamiento lento y controlado en el horno 10-20°C , enfriamiento posterior al aire. Dureza después del recocido blando: **máx. 205 Bri nell.**

-Recocido de distorsión:

600 - 650°C

Enfriamiento lento en el horno. Para disminuir la tensión después de un mecanizado extenso, o en herramientas complicadas. Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 1 – 2 horas en atmósfera neutra.

-Temple:

1000 - 1040°C. Aceite, baño de sales (500-550°C), a ire. Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 15 - 30 minutos. Dureza obtenible:

52 - 56 HRC temple en aceite o baño de sales,

50 - 54 HRC temple al aire.

-Revenido:

Calentamiento lento a temperatura de revenido inmediatamente después del temple / tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero 2 horas como mínimo / enfriamiento al aire. Se recomiendan dos ciclos de revenido como mínimo.

Resulta favorable un 3er revenido para reducir tensiones.

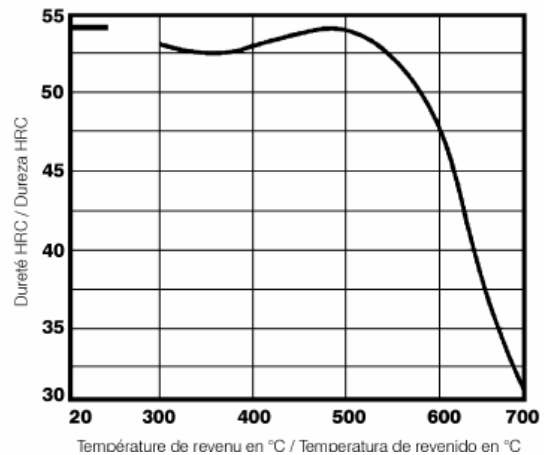
1°revenir aprox. 30°C arriba de la dureza máxima d e revenido.

2°revenir a dureza útil. El diagrama de revenido muestra los valores medios de dureza de revenido.

3° revenir para distensionar, 30-50°C debajo de la temperatura máxima de revenido.

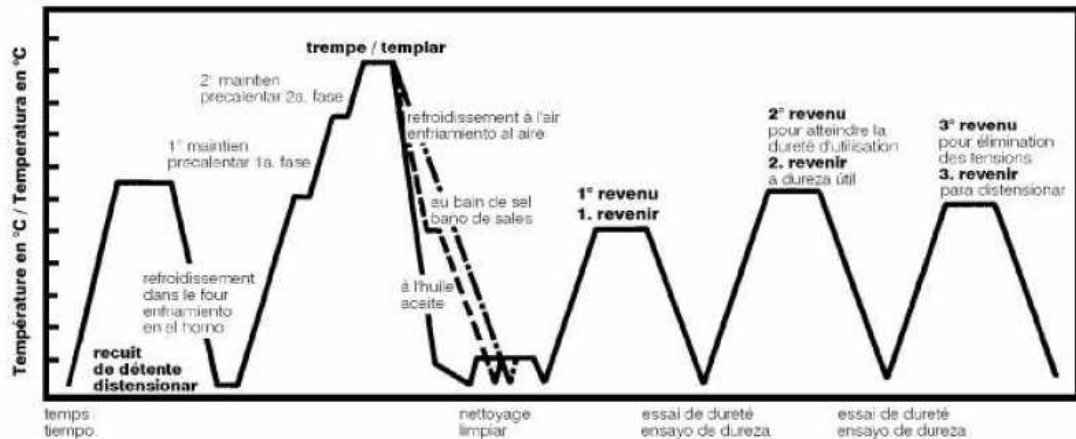
Diagrama del revenido

Temperatura de temple: 1020°C
Sección de la probeta: cuadrada 50 mm



Tratamiento térmico

Esquema de tratamiento térmico



Como se puede comprobar en el proceso de tratamiento térmico podemos encontrar distintas fases.

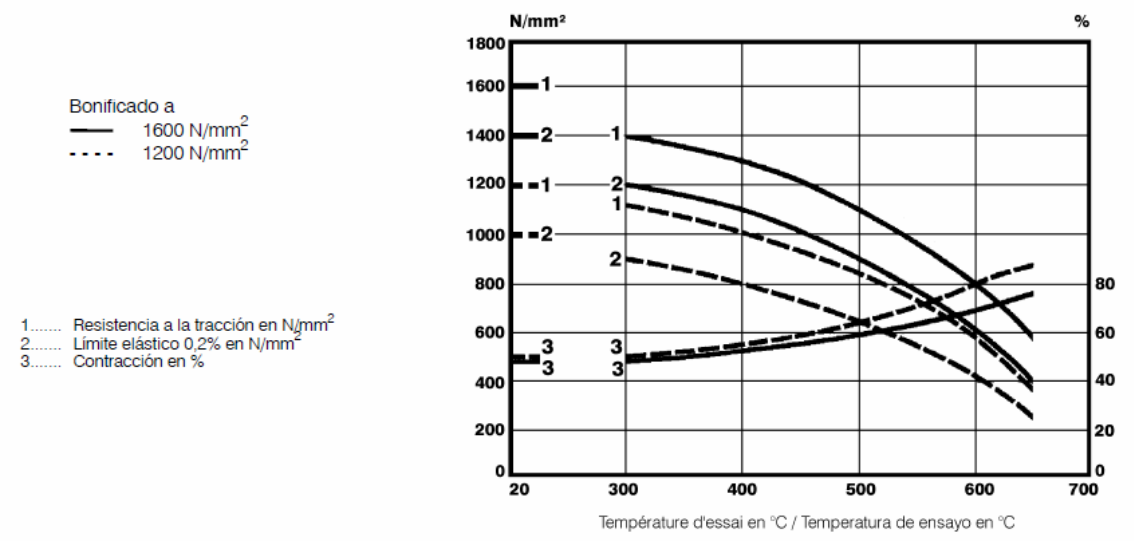
- La primera fase es un recocido de dispersión, para eliminar tensiones.
- La segunda fase es el temple, en el que para alcanzar los 1000°C del temple se hace de forma escalonada para luego enfriar mediante aire, baño de sal o aceite
- Por ultimo encontramos tres fases del revenido, estos requieren un revenido más complejo y a mayor temperatura que los aceros para trabajo en frío, ya que requieren propiedad para trabajos en caliente.

Tratamiento superficial

Nitruración:

Las herramientas de esta calidad se prestan tanto para la nitruración con gas, como para la nitruración en baño.

Diagrama de resistencia en caliente



Como se puede comprobar en la grafica, cuando un acero de herramientas trabaja a una mayor temperatura la resistencia a la tracción y el límite elástico se reducen. Por eso para aceros de herramientas que trabajan en caliente es de cierta importancia la influencia de las temperaturas en sus propiedades.

También es importante la dilatación térmica y su conductividad ya que estará expuesto a altas temperaturas

| Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10 ⁻⁶ m/(m.K) | Température / Temperatura | 10 ⁻⁶ m/(m.K) |
|---|------------------------------|--------------------------|
| | 100°C | 11,5 |
| | 200°C | 12,0 |
| | 300°C | 12,2 |
| | 400°C | 12,5 |
| | 500°C | 12,9 |
| | 600°C | 13,0 |
| | 700°C | 13,2 |

| Conductivité thermique à °C, W/(m.K) / Conductividad térmica a °C, W/(m.K) | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Conditions | Température / Temperatura | | | | | | |
| Condición | 100°C | 200°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C |
| V | 26,0 | 27,7 | 28,9 | 29,5 | 29,5 | 29,1 | 29,2 |
| V = trempé et revenu / templado y revenido | | | | | | | |

Propiedades físicas

| | | | |
|------------------|-------------|------------|--------------------|
| Densidad a | 20°C | 7,80 | kg/dm ³ |
| | 500°C | 7,64 | kg/dm ³ |
| | 600°C | 7,60 | kg/dm ³ |

| | | | |
|--------------------------|-------------|-----------|----------|
| Calor específico a | 20°C | 460 | J/(kg.K) |
| | 500°C | 550 | J/(kg.K) |
| | 600°C | 590 | J/(kg.K) |

| | | | |
|--|-------------|------------|------------------------|
| Resistencia eléctrica específica a | 20°C | 0,52 | Ohm.mm ² /m |
| | 500°C | 0,86 | Ohm.mm ² /m |
| | 600°C | 0,96 | Ohm.mm ² /m |

| | | | |
|-------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Módulo de elasticidad a | 20°C | 215 x 10 ³ | N/mm ² |
| | 500°C | 176 x 10 ³ | N/mm ² |
| | 600°C | 165 x 10 ³ | N/mm ² |

6.3. Aceros rápidos

6.3.1. HS6-5-2C

Propiedades

Acero rápido aleado al tungsteno y molibdeno de gran tenacidad y buenas propiedades de corte, para aplicación universal.

Aplicación

Brocas espirales, machos de roscar, herramientas para brochar y es cariar, sierras para metales, fresas de toda clase, herramientas para trabajar madera, herramientas para trabajar en frío.

| Composición química (valores aproximados en %) | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| C | Si | Mn | Cr | Mo | V | W |
| 0,90 | 0,25 | 0,30 | 4,10 | 5,00 | 1,00 | 6,20 |

Normes

Normas

DIN / EN
~ 1.3554 LW
< 1.3343 >
HS6-5-2C

AISI
~ M2 reg. C

UNS
~ T11302

BS
~ BM2

UNE
F5603
6-5-2

UNI
HS6-5-2
~ X82WMoV6 5

JIS
SKH51

GOST
~ R6M5

SIS
2722

AIR
~ E-Z85WCDV6

AFNOR
~ Z80WDCV6
~ Z90WDCV06-05-04-02

JIS: Norma Japonesa
AFNOR : Norma Francesa
GOST : Norma Rusa
BS : Norma de Reino Unido
UNI : Norma Italiana
SIS : Norma Sueca

Conformación en caliente

-Forjado:

1100 a 900°C. Enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

Tratamiento térmico

-Recocido blando:

770- 840°C

Enfriamiento lento y controlado en el horno 10-20°C, enfriamiento posterior al aire. Dureza después del recocido blando: **máx. 280 Brinell**.

-Recocido de eliminación de tensiones:

600 - 650°C

Enfriamiento lento en el horno. Para disminuir la tensión después de un extenso arranque de virutas o en caso de herramientas de configuración complicada. Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 1 - 2 horas en atmósfera neutra.

-Temple:

1190 - 1230°C

Aceite, baño de sal (500 - 550°C), aire comprimido seco, vacío. Margen superior de temperatura para herramientas de configuración sencilla, margen inferior de la temperatura para herramientas de configuración complicada.

Por razones de tenacidad, en herramientas para trabajar en frío, también tienen importancia temperaturas más bajas de temple. Tiempo de mantenimiento mínimo después de precalentamiento en varias etapas y calentamiento completo en baño de sales: 80 segundos hasta conseguir una disolución suficiente de los carburos, pero como máximo 150 segundos para evitar deterioros del material debido a tiempos excesivos.

En la práctica, se trabaja con el tiempo de permanencia en el baño de sales (antes tiempo de inmersión) = tiempo de calentamiento + tiempo de mantenimiento hasta alcanzar la temperatura de temple (véase diagrama de tiempo de permanencia).

También es posible realizar el temple al vacío.

El tiempo de permanencia está en función del tamaño de la pieza y los parámetros del horno.

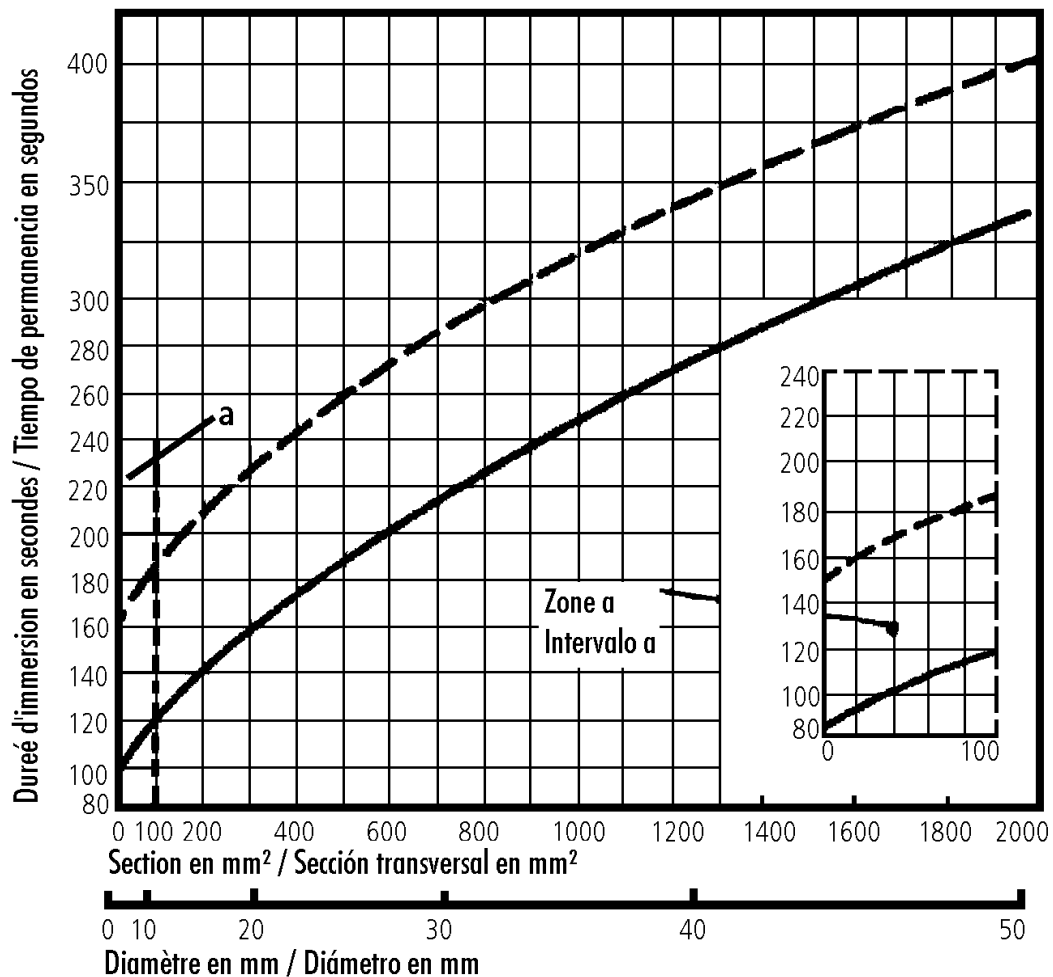
Diagrama de tiempo de permanencia (baño de sales)

Duración de la austenización (tiempo de mantenimiento a temperatura de temple)

— 80 segundos

- - - 150 segundos

Precalentamiento a 550°C, 850°C y 1050°C.



Esta grafica viene a definir que dependiendo de la sección a temprar dependerá el tiempo de permanencia.

En resumidas cuentas que a mayor sección a temprar mayor sera el tiempo de permanencia de la pieza.

-Revenido

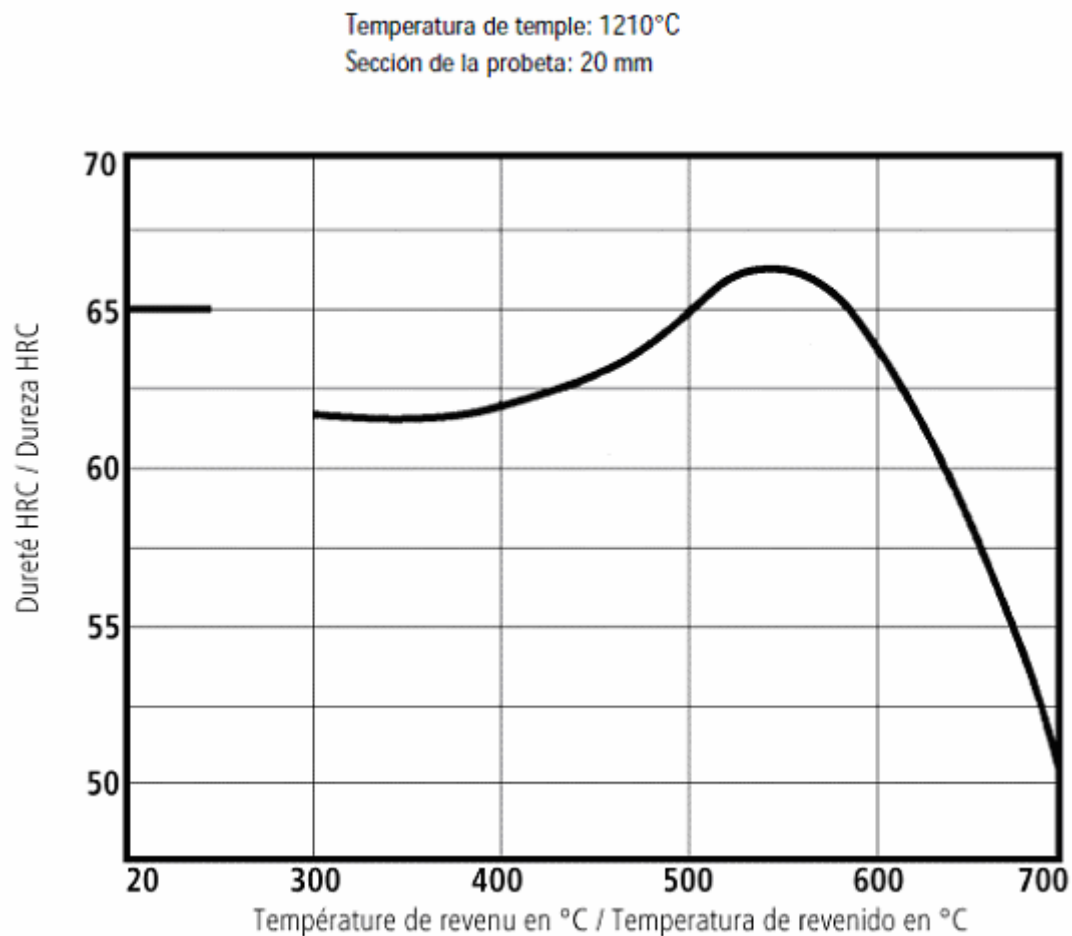
Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple/tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero 2 horas como mínimo / enfriamiento al aire (tiempo de mantenimiento mínimo: 1 hora).

Primer revenido y segundo revenido hasta alcanzar la dureza útil de sea da. En el diagrama de revenido figuran los valores aproximados de la dureza alcanzable después del revenido.

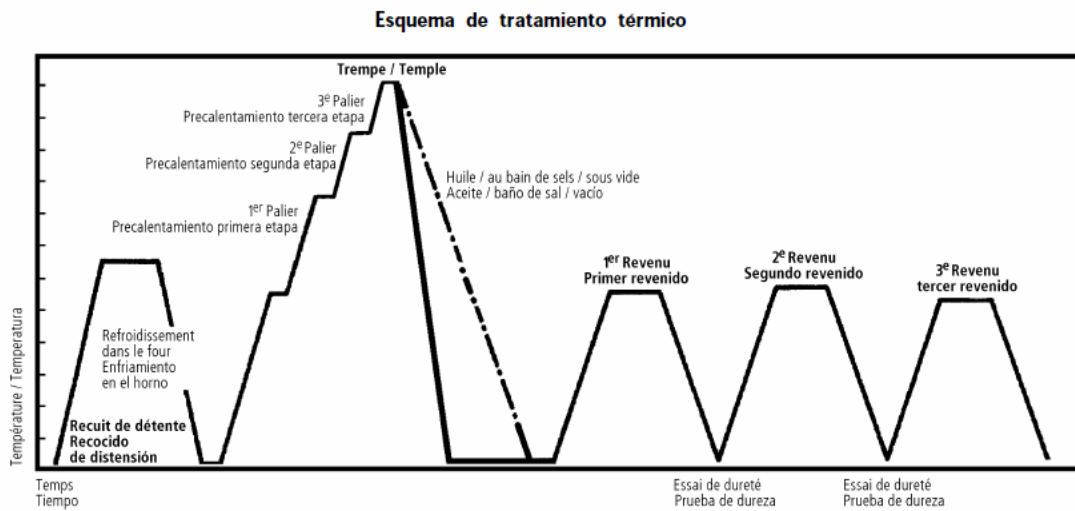
Tercer revenido para la distensión 30-50°C por debajo de la temperatura máxima de revenido.

Dureza alcanzable después del revenido: 64-66 HRC.

Diagrama del revenido



Tratamiento térmico



Como se puede comprobar en el proceso de tratamiento térmico podemos encontrar distintas fases.

- La primera fase es un recocido de dispersión, para eliminar tensiones.
- La segunda fase es el temple, en el que para alcanzar los 1000°C del temple se hace de forma escalonada para luego enfriar mediante aire, baño de sal o aceite
- Por ultimo encontramos tres fases del revenido, estos requieren un revenido más complejo y a mayor temperatura ya que los aceros rápidos requieren propiedades muy especiales.

Propiedades físicas

Densidad a20°C8,10kg/dm³

Conductibilidad térmica a20°C19,0W/(m.K)

Calor específico a.....20°C460J/(kg.K)

Resistencia eléctrica específica a20°C0,54Ohm.mm²/m

Módulo de elasticidad a20°C217 x 10³N/mm²

| Dilatation thermique, entre 20°C et ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK) | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK) | | | | | | |
| 100°C | 200°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C |
| 11,5 | 11,7 | 12,2 | 12,4 | 12,7 | 13,0 | 12,9 |

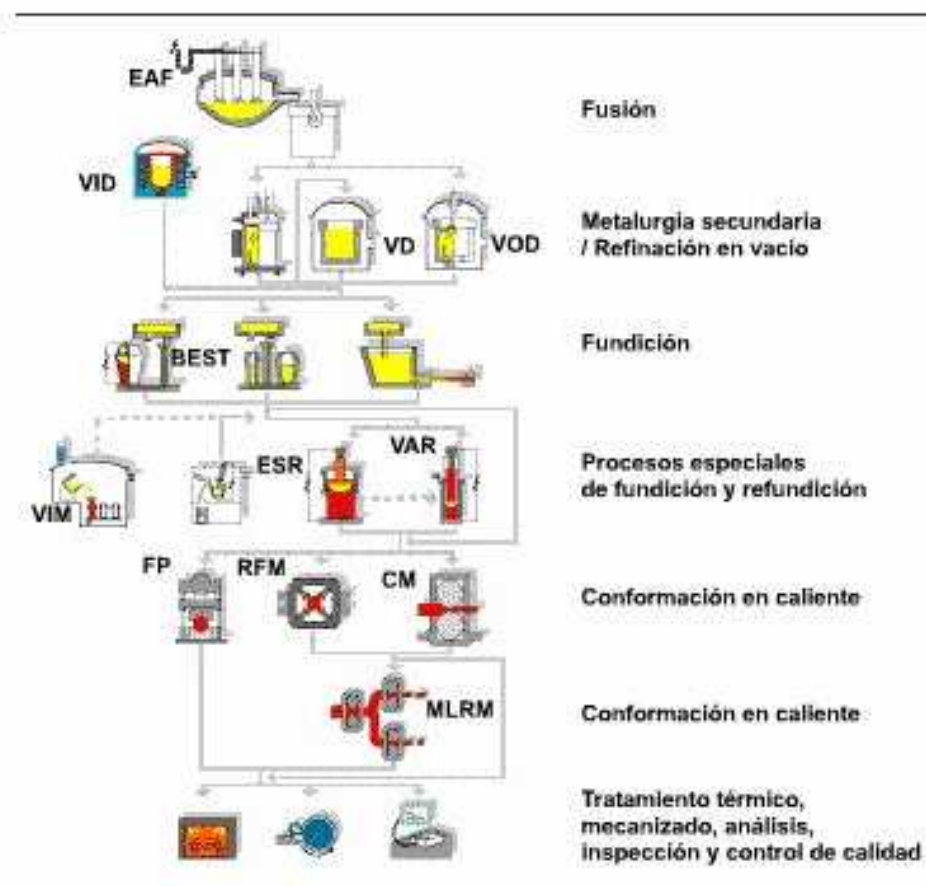
7. FABRICACIÓN DE ACEROS

DE HERRAMIENTAS

En este apartado veremos sobre la fabricación de los aceros de herramientas mediante procesos convencional (moldeo) y la pulvimetalurgia en polvos .

7.1. Proceso convencional

El acero especial es una aleación de hierro y carbono con adiciones de otros elementos. El acero y su proceso de producción se ha conocido durante miles de años pero fue hace solo un siglo que los metalúrgicos comenzaron a estudiar sistemáticamente la influencia de los elementos de aleación en las propiedades del acero.



El proceso convencional de producción del acero rápido y del acero grado herramienta comienza en el horno de fundición, un enorme crisol rodeado de ladrillos refractarios, en donde la chatarra de hierro se funde a temperaturas superiores a 1.500°C mediante arco eléctrico. En este estado el hierro reacciona con elementos de aleación tales como carbono, cromo, níquel, tungsteno, vanadio, etc formándose los carburos que son compuestos de carbono y otros elementos de aleación. Los carburos son los responsables de

dar al acero los niveles de dureza y resistencia al desgaste requeridos. La colada se solidifica en grandes bloques y puede ser conducida a procesos de refinación adicionales o llevada directamente a los equipos de forja y laminación para obtener barras (redondas, cuadradas, hexagonales, etc) o láminas de acero según las necesidades de los mercados.

7.1.1 Fases del proceso convencional

En el proceso convencional para la fabricación de aceros de herramientas nos encontramos las siguientes fases:

- 1) Fusión
- 2) Metalurgia secundaria
- 3) Fundición
- 4) Conformación: **moldeo o forja**
- 5) Tratamientos térmicos

7.1.2 Fusión

En esta fase se pasa el acero de estado sólido a estado líquido mediante una aportación de calor, aproximadamente a unos 1500 ° C y normalmente con un arco eléctrico.

7.1.3. Metalurgia secundaria

La metalurgia secundaria tiene como misión modificar la composición del acero para conseguir unas determinadas propiedades.

La metalurgia secundaria se lleva a cabo en equipos diversos, tales como cucharas, convertidores u hornos especiales. Según el objeto que tratan de conseguir se clasifican en tres grandes categorías:

1.) Tratamiento de desgasificación:

El acero contiene elementos perjudiciales que deben eliminarse. Entre éstos están los gases disueltos durante el proceso de fabricación; Hidrógeno; Oxígeno; Nitrógeno. Para reducir el tamaño al máximo del contenido de estos gases, en especial el Hidrógeno, se somete al acero líquido al vacío, según distintos procesos, que pueden agruparse en tres técnicas principales:

1.1.) Desgasificación del chorro de colada:

Consiste en situar el recipiente receptor del acero líquido (cuchara o lingotera) en una cámara de vacío, sobre la que se ajusta la cuchara que contiene el acero líquido. El chorro de acero, por efecto del vacío, se fracciona en gotas que favorecen la eliminación de los gases.

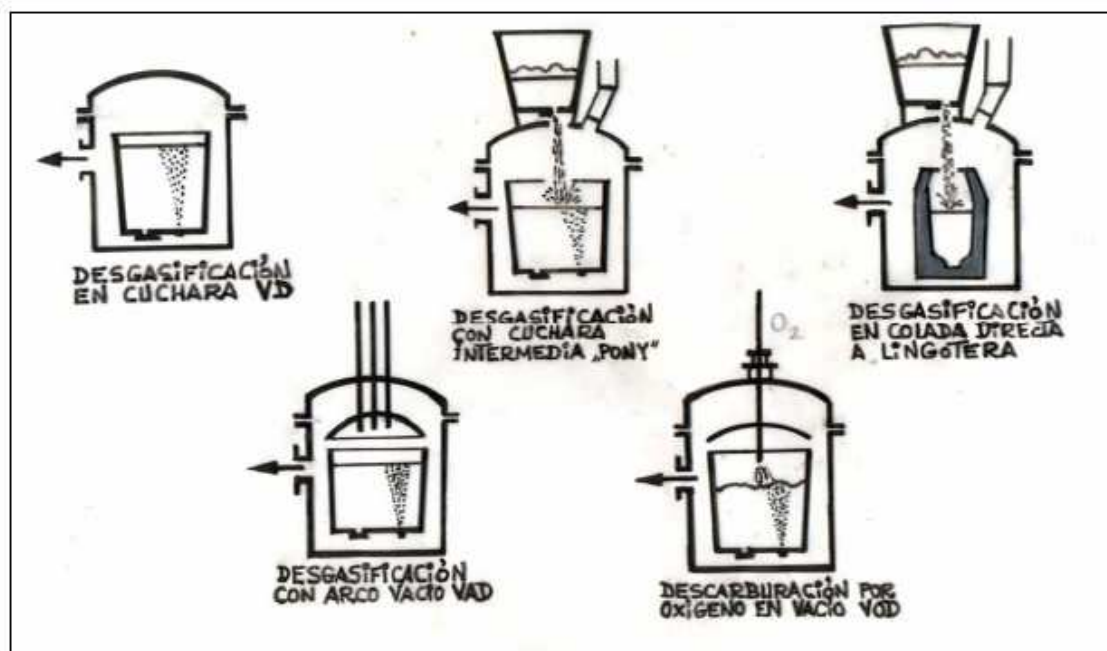
1.2.) Desgasificación del acero en la cuchara:

La cuchara se sitúa previamente en una cámara de vacío. Para facilitar la desgasificación, el acero se remueve por una corriente de gas inerte (Argón) o electromagnéticamente.

1.3.) Desgasificación por recirculación:

Consiste en hacer circular repetidas veces el acero por un recipiente que actúa de cámara de vacío.

Proceso en vacío



2.) Tratamiento de homogeneización por barboteo:

Consiste en la agitación del baño mediante la inyección de un gas inerte, generalmente Argón, a través del fondo de la cuchara o por una lanza.

3.) Tratamientos de desulfuración y desoxidación:

Se insuflan estos productos en polvo, a través de una lanza, por medio de un gas inerte. Los productos más frecuentes para insuflar son el (SILICIO-CALCIO) "Si-Ca" y diversas escorias sintéticas. La agitación del acero por el paso del gas produce excelente homogeneidad de composición y temperatura del baño y una mejora de la limpieza.

4.) Desoxidación del acero por el carbono en el vacío o (VCD):

Al ser tratado el acero en el vacío conteniendo carbono y oxígeno disueltos estos elementos reaccionan entre sí, dando origen a CO, de esta forma se elimina el oxígeno del acero sin dejar residuos sólidos (inclusiones no metálicas). El CO (gas) es eliminado del sistema (vacío), siguiendo la reacción hasta prácticamente la eliminación total del oxígeno. La deshidrogenación también es más elevada, al ser ayudada por el desprendimiento de burbujas de CO, que facilitan el arrastre del hidrógeno.

5.) Tratamientos de afino con calentamiento de acero en cuchara:

Por este proceso pueden conseguirse aceros con muy bajo contenido de azufre y gases, muy limpios y con control de la morfología de las inclusiones. También se consigue excelente control de la composición y la temperatura. Las cucharas se montan con tampones porosos por los que se inyecta Argón. Una vez obtenido el grado de desulfuración deseado se añaden las ferroaleaciones requeridas obteniéndose el acero programado.

6.) Adición de Aluminio y Calcio por medio de alambre o de proyectiles: El alambre se introduce a gran velocidad en el acero mediante un mecanismo especial. Al mismo tiempo se remueve el acero de la cuchara inyectando Argón. En el caso de adición por proyección, los proyectiles se lanzan a una velocidad controlada para que almacenen el fondo de la cuchara, por medio de un aparato que funciona como una metralleta de aire comprimido.

7.) Refusión por arco bajo vacío (VAR) y bajo escoria electroconductora (E.S.R.):

Por estos métodos se producen lingotes de acero de gran pureza. Ambos métodos consisten en la refusión de un electrodo de la composición química deseada, en un crisol enfriado por agua, realizándose simultáneamente la fusión del electrodo y la solidificación del acero.

7.1.4. Fundición

Una vez completado el afino del acero en la estación de Metalurgia Secundaria, el caldo se pasa a la cuchara de colada.

Hay que destacar también que en esta fase se juntan los elementos de aleación (apartado 4.10) con el acero dando el acero de herramientas deseado.

7.1.4.1. La colada

La colada puede ser de dos tipos de colada continua y colada convencional.

-Colada convencional.

El acero se trasvasa a unos moldes o lingoteras de forma troncopiramidal para su solidificación. El acero contenido en la cuchara se pasa a las lingoteras a

través del orificio inferior de la cuchara buza. este proceso se puede realizar de dos formas:

1) Colada directa.- Las lingoteras se llenan unas a continuación de otras.

2) Colada en sifón.- Todas las lingoteras se llenan simultáneamente. El contenido de la cuchara se vierte en un bebedero, y a través de un sistema de vasos comunicantes el acero pasa a las lingoteras.

El acero solidificado en forma troncopiramidal puede tener base:

1) Cuadrada.- Reciben el nombre de tochos y se utilizan para la posterior fabricación de carriles, perfiles y redondos.

2) Rectangular.- Reciben el nombre de petacas se utilizan para obtener chapas.

-Colada continua.-

En este caso la solidificación del acero con sección constante. El acero se trasvasa desde la cuchara a una artesa que actúa como regulador; de esta se pasa a un molde refrigerador, de manera que la parte superficial exterior se solidifica, y es capaz de soportar la presión interior del líquido. Una vez fuera del molde, se continúa la refrigeración inyectando chorros de agua al acero, de esta forma el espesor solidificado aumenta hasta la obtención de un producto sólido.

De las máquinas de colada continua se obtienen distintos productos que dependen de la forma del molde:

1) Desbastes planos, destinados a la fabricación de chapas.

2) Desbastes de sección cuadrada, destinados a la fabricación de perfiles y carriles.

3) Palanquillas de sección cuadrada, más pequeños que los desbastes de sección cuadrada destinados a la sección de redondos.

En la colada convencional se obtienen los tochos y petacas que deben deslingotarse calentándolos a temperaturas de 1250°C y se laminan en un tren desbastador para obtener un producto intermedio a partir del que se obtiene el producto final.

La diferencia entre ambos tipos de colada es la transformación directa del acero líquido en desbaste, con el consiguiente ahorro.

7.1.5. Conformación

Tanto la laminación en caliente como la forja son tratamientos metalúrgicos que mejoran la homogeneidad del acero reduciendo los efectos de la segregación, aumentan la compacidad soldando las discontinuidades internas no oxidadas y afinan el grano de austenita. La formación de fibra (estiramiento de las impurezas o inclusiones) genera propiedades direccionales, mejorando las longitudinales en detrimento de las transversales.

7.1.5.1. Laminación en caliente

Consiste en hacer pasar un material (lingote o semiproducto) entre dos rodillos o "CILINDROS", que giran a la misma velocidad en sentidos contrarios, y reducir la sección transversal mediante la presión ejercida por estos.

Las fases principales de un proceso de laminación en caliente son:

1.) Calentamiento: Las instalaciones de calentamiento más usuales son: hornos de empuje, de largeros, de fosa, de vagonetas o carros, durmientes o carros, etc.

Los hornos de empuje o con ligeros matices los de carros, son instalaciones que disponen de una cámara alargada, con una boca de entrada (boca de carga) de los lingotes fríos y otra boca de salida por donde salen los lingotes calientes, construida con ladrillo refractario o modernamente manta aislante, revestida exteriormente de chapa. A lo largo del horno existen varios mecheros calentadores de gas o fuel-oil repartidos por zonas de calentamiento.

Los hornos de fosa son instalaciones compuestas normalmente por varias cámaras en forma de fosa cubiertas por una tapadera móvil. Las fosas disponen de uno o varios mecheros de gas o fuel. Los lingotes se disponen normalmente en posición vertical, se meten y sacan de uno en uno por medio de una grúa especial.

El ciclo térmico seguido es: enhornamiento, rampa de calentamiento, mantenimiento a la temperatura de laminación según geometría del lingote y calidad del acero.

2.) Laminación: El tren de laminación es el conjunto de "cajas laminadoras" donde se realiza el proceso de laminación. Cuando por estas cajas el material sólo pasa una vez, estando una caja a continuación de otra se llama "tren continuo".

Para conseguir que el lingote o la palanquilla de salida adquiera la forma deseada es necesario que el material sufra una serie de pasadas por varios cilindros. Para ello hay que diseñar previamente los canales de los cilindros para que secuencialmente conformen el lingote o palanquilla a la configuración geométrica final.

3.) Corte y enfriamiento: Tras la laminación del desbaste hay que cortar los extremos del lingote para eliminar la mazarota y el pie. Esta operación se realiza por cizalladura o por sierra en caliente.

El enfriamiento debe estar muy controlado para que no se produzcan agrietamientos superficiales y estalladuras en las barras.

7.1.5.2. La forja

Es el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica producida por presión o impacto. Esta deformación controlada del metal, realizada a alta temperatura, produce mejor calidad metalúrgica y mejora las propiedades mecánicas.

Al calentarla es importante conseguir la uniformidad de temperatura en toda la pieza. Si el corazón del lingote o desbaste está "frío" (menos de 1250° C) pueden aparecer roturas internas, al no tener la misma plasticidad que la superficie.

1.) Forja libre: se caracteriza porque la deformación del metal no está limitada. Es utilizado cuando la cantidad de piezas a fabricar es pequeña o si el tamaño de la pieza a forjar es muy grande.

Existen dos tipos de forja libre: la forja con martillo, donde el lingote del desbaste se apoya en yunque inferior y este a su vez en la "chabota" produciéndose la deformación por los fuertes golpes de la maza que cae sobre el lingote; y la forja en prensa, los lingotes grandes se sitúan entre el yunque superior y el inferior de prensas hidráulicas.

2.) Forja por estampación: la fluencia del material queda limitada a la cavidad de la estampa. El material se coloca entre dos matrices que tienen huecos grabados con la forma de la pieza que se desea obtener. El metal llena completamente los huecos de la estampa por medio de golpes o presión empleando martillos o prensas. El proceso de estampado termina cuando las dos matrices llegan a ponerse prácticamente en contacto.

Se puede realizar en caliente (unos 1000°C), en semicaliente (entre 850°C y 1250°C) o en frío (temperatura ambiente).

7.1.5.2. El moldeo

Consiste en verter (colar) el acero en un molde hueco, cuya cavidad reproduce la forma deseada de la pieza y se deja solidificar el metal en dicho molde. La calidad es mucho menor pero también es mucho más económico. El proceso de moldeo consta de las siguientes etapas:

- Construcción y preparación del "moldeo".
- Fabricación del "molde" a partir del modelo.

- Elaboración del moldeo líquido.
- Colada del acero líquido en los moldes.
- Desmoldeo de la pieza.
- Limpieza (desarenado y rebabado).
- Tratamiento térmico.
- Acabado final.

7.1.6. Tratamiento térmico

Ver aparatado 5

7.2. Pulvimetalurgia

En lugar de fundir enormes bloques que pesan muchas toneladas se atomiza la colada en pequeñas gotitas de acero líquido y se logra un enfriamiento mucho más rápido que distribuye uniformemente los elementos de aleación y los carburos dentro del grano de polvo. La pulvimetalurgia permite incrementar significativamente el contenido de elementos de aleación aumentando el porcentaje de carburos en el acero lo cual no siempre es posible hacerlo en el proceso convencional por razones estructurales. Este proceso permite mejorar significativamente la resistencia al desgaste del material sin afectar los valores de tenacidad y resistencia a la fractura.



7.2.1. Definición

La pulvimetalurgia es un proceso de conformación metálica, como la forja, o el moldeo. Esta técnica presenta un control dimensional muy exacto. La pulvimetalurgia abarca las etapas comprendidas desde la obtención de polvos metálicos hasta las piezas acabadas, es decir, producción de polvos, mezcla, aglomeración, sinterización y acabado. La industria pulvimetalúrgica se basa en la producción de grandes series en las cuales el costo del mecanizado influye decisivamente en el costo del producto sinterizado.

7.2.2. Proceso

El proceso de pulvimetalurgia, consiste en prensar polvos metálicos para darles forma determinada; el prensado se hace con prensas similares a las de los procesos normales de formado con matrices más complejas y los materiales en polvo se deben someter a tratamiento térmico en un horno para sinterizarlos. La primera aplicación en la industria moderna fue la formación de alambres con materiales en polvo que eran muy duros para trabajarlos o fundirlos. La metalurgia de polvos es muy usada para formar una gran cantidad de piezas pequeñas, en este proceso es factible fabricar o trabajar ciertos materiales que por otros medios es casi imposible. Los puntos de fusión de los metales refractarios como el Tungsteno (3000°C), el Titanio (2996°C) y el Molibdeno (2620°C) son muy difíciles de trabajar.

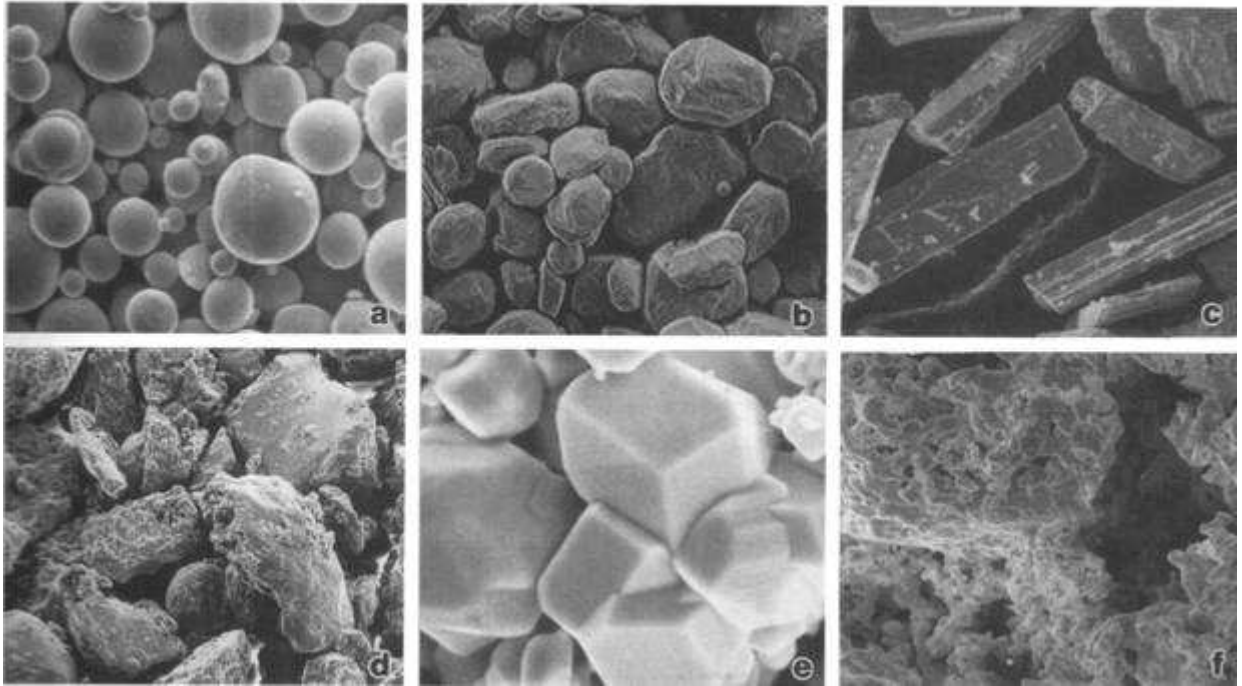
Otras sustancias como el Zirconio (1900°C) reaccionan intensamente con los medios ambientales cuando se funden. La metalurgia de polvos es una forma práctica para refinar y fabricar piezas de estos metales, también es el único método factible de consolidar y formar los materiales separados para herramientas, como los carburos cementados y los óxidos sinterizados.

7.2.3. Polvos de metal

Las composiciones más usadas son los polvos en base de cobre o de hierro, latón y acero para partes estructurales, bronce para cojinetes. Otros de importancia aunque en cantidades menores son acero inoxidable, aluminio, titanio, níquel, estaño, tungsteno, cobre, zirconio, grafito y óxidos metálicos y carburos. Se usan polvos de metal puro para ciertas partes y aleaciones para otras. Estas últimas pueden obtenerse aleando un metal antes del pulverizado y por el mezclado de polvos de los ingredientes deseados. Las principales características de los polvos metálicos son la forma, el tamaño y la distribución de las partículas, la pureza, la estructura del grano, la densidad, la velocidad de flujo y la compresibilidad. La mayoría de los polvos de metal se obtienen por reducción de mineral refinado, de escoria de laminación óxidos preparados por monóxido de carbono o hidrógeno, los granos tienden a ser porosos.

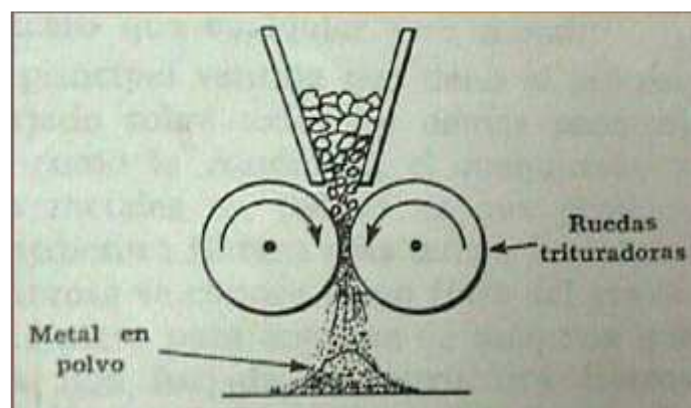
Los metales pueden atomizarse en una corriente de aire, vapor o gas inerte. Algunos pueden fundirse por separado e inyectarse a través de un orificio en la corriente. Otros como el hierro pueden fundirse en un horno eléctrico (como

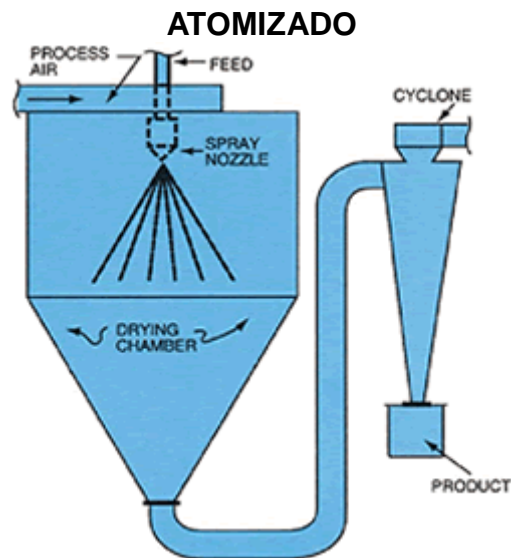
aspersión del metal). En condiciones controladas el polvo de metal puede depositarse electrolíticamente. Se calienta para recocerlo y expulsar el hidrógeno, se selecciona y se mezcla. Los polvos electrodepositados se encuentran entre los de más pureza y tienen características dendríticas. La molienda en los molinos de bolas, martillos, trituradores, es un medio para producir polvos casi de cualquier grado de finura a partir de metales frágiles o metales maleables.



7.2.4. Fabricación de polvos metálicos

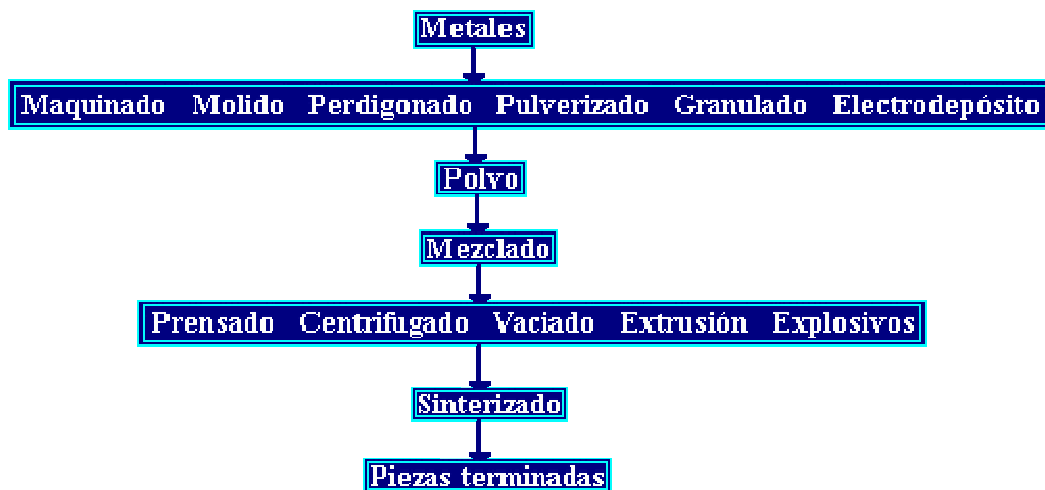
Perdigonada es el proceso de dejar caer al agua, partículas fundidas, desde una abertura pequeña pasando a través de aire o de un gas inerte. Otros métodos usados de hacer polvos de metal, incluyen el maquinado.





7.2.5. Proceso de fabricación

Las operaciones básicas de compactar y calentar pueden combinarse en diversas formas en los procesos para la fabricación de polvos de metal. Además las operaciones de compresión y sinterizado son variadas y se controlan para adecuarse a muchas condiciones

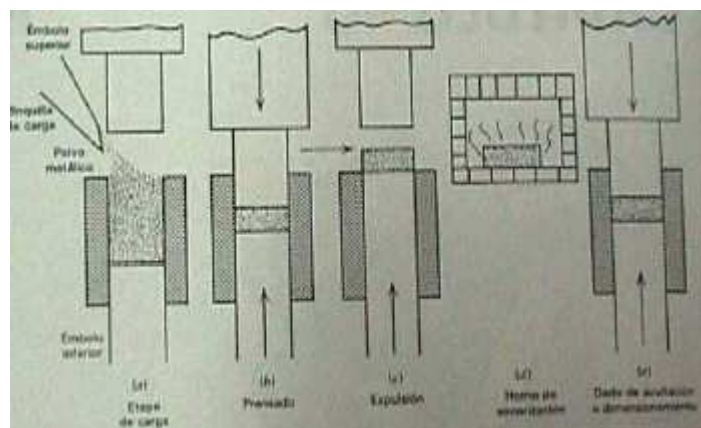


7.2.5.1. Compresión

El efecto de la presión en el metal en polvo es comprimir las partículas para colocarlas en su lugar, iniciar enlaces interatómicos e incrementar la densidad de la misma. En forma teórica si un polvo se comprime lo suficiente, alcanzará el 100% de la densidad y resistencia del metal padre, cuando menos al ser sinterizado. La mayoría de las partes se comprimen en frío, a veces pueden comprimirse o forjarse subsecuentemente. La compresión en caliente produce la mayor exactitud. La forma de la partícula adecuada, el tamaño, la distribución del tamaño, la selección cuidadosa y la mezcla son necesarias para obtener una parte comprimida satisfactoria. Las mejores ligas se obtienen entre partículas abruptas, pero las partículas redondas fluyen mejor en el molde y bajo presión. La forma en que el polvo llena el dado determina la velocidad de operación.

El metal en polvo se comprime en una cavidad o dado para tomar la forma de la parte mediante uno o más punzones. La calidad depende de empaquetar con uniformidad el material. El material en polvo no fluye con facilidad en las esquinas y los recesos como los fluidos. La fricción es alta entre las partículas y las paredes del dado. Por tanto, un solo punzón no puede compactar a densidad uniforme cualquier parte, sino solo las más simples. Las partes que en particular tienen escalones, paredes delgadas, bridas, etc., deben comprimirse con dos o más punzones para distribuir uniformemente la presión a través de las secciones. Las partes más complejas pueden requerir hasta dos movimientos superiores y tres o cuatro movimientos inferiores del punzón e incluso ciertos movimientos laterales al corazón se suministran por la prensa.

La compresión de polvos normalmente se hace en prensas diseñadas específicamente para tal propósito. Se evalúa una de dichas prensas por la fuerza que puede suministrar y por la máxima profundidad de la cámara de dado que puede acomodar. La medición de la fuerza determina el área de la sección transversal de la parte más grande que puede sujetarse a una presión dada. La profundidad de la cámara del dado, llamada lleno de dado, determina que tan profundo puede ser el llenado de polvo en un dado. Esto limita la longitud de la parte comprimida a razón de la profundidad de polvo respecto a la longitud de la parte compactada de 2:1 a 3:1 para el hierro.



Prensado de los polvos

OTROS MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

El metal en polvo puede colarse, deslizándolo en moldes. El polvo se dispersa en un líquido que contiene químicos para mojar las partículas y ayudar a distribuir las en la masa del molde. El molde puede ser poroso para absorber líquido libre y puede vibrarse para densificar el compacto. Las partes coladas por deslizamiento se sinterizan después para que tengan resistencia adecuada. Se usan agregados de fibra para la absorción del sonido y de la vibración o como refuerzo para los plásticos y metales. El costo del molde es bajo y es económico para partes que son complejas o en pequeñas cantidades.

Un método para polvos pesados, como el carburo de tungsteno, es la compactación centrífuga. El polvo se hace girar en un molde y se empaca con uniformidad y a presiones hasta de 3 Mpa (400 psi) en cada partícula. El metal en polvo también se moldea por inyección, el lodo del polvo en agua o mezclado con un material termoplástico se inyecta en un dado, el aglutinante se remueve en el sinterizado.

Una forma de aplicar la presión para obtener una densidad uniforme es encerrar el polvo en un molde con forma de plástico o hule con la forma deseada y sumergirlo en un gas o líquido en una cámara bajo presión de 70 a 700 Mpa. Pueden elaborarse partes complicadas asimétricas y grandes con más facilidad que con otros métodos, los dados de metal no son necesarios. El polvo de metal, en contenedores de metal y las preformas, se sujetan a presiones de gas tan altas como 350 Mpa (50.000 psi) a temperaturas hasta 2200°C en la compresión isostática caliente.

Los tubos largos pueden compactarse magnéticamente, el metal en polvo se vierte rodeando un mandril dentro de un conductor coaxial, se pulsa una corriente de 1 MA a través de conductores y se establece el campo magnético que oprime el conductor interno contra el compacto.

7.2.5.1. Sintetizado

El sinterizado refuerza los enlaces entre las partículas formando un compacto de metal en polvo. En todos los casos esto ocurre debido a que los átomos de las partículas en contacto se entremezclan, los constituyentes del compacto pueden o no fundirse. Si existe un solo constituyente como en el sinterizado del polvo de hierro, se presenta una sola fase continua. En compactos de dos o más metales diferentes, se forman fases de compuestos intermedios en los puntos de liga de las partículas. Con el sinterizado, las áreas ligadas crecen y el material llena los vacíos entre las partículas. Se ha comprobado que la difusión y el movimiento de los átomos en las superficies de las partículas son las actividades principales en las etapas iniciales del sinterizado. La tensión

superficial es la fuerza que impulsa a reducir el área de la superficie, redondeando y suavizando las irregularidades superficiales.

El sinterizado por chispa se hace colocando polvo suelto en un dado, se pasa una corriente intensa a través de él y se aplica presión al mismo tiempo. Una corriente inicial limpia la capa de óxido de las partículas de polvo, para facilitar la unión de las superficies, una corriente caliente la masa bajo presión, éste proceso se ha desarrollado en la industria aeroespacial para la elaboración de muchas de sus partes.

7.2.5. Ventajas de la pulvimetalurgia sobre los procesos convencionales

- Extrema resistencia al desgaste
- Excelente resistencia a la corrosión
- Optimas propiedades de afilado y rectificado
- Optima posibilidad de dar un acabado de espejo a sus herramientas
- Altísima tenacidad
- Mínima variación dimensional durante el tratamiento térmico

8. BIBLIOGRAFIA

- Introducción a la metalurgia física*, Avner Sydney
- Ciencia e ingeniería de los materiales*, Donald R. Askeland
- ASM Metals Handbook Vol.01*
- Norma UNE ISO 4957
- Norma UNE ISO 10027
- Norma UNE ISO 10020
- Tools Steels, Heat Treatment and Surface Treatment Preparation*, Dayton
- Artículo técnico sobre tratamiento criogénico 2000
- Heat Treatment and Toughness Behavior of Tool Steels for Cutting Blades*
- www.bohler.es
- www.obtesol.com
- Principios de la metalurgia*, Robert E. Reed-Hill